

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS DE
PRODUCCIÓN SOBRE LA EXTRACCIÓN DE
NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE
FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv Albión).**

Shirley Dayana del Pilar Guáqueta Huguet

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia

2019

EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS DE PRODUCCIÓN SOBRE LA EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv Albión).

Shirley Dayana del Pilar Guáqueta Huguet

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería - Ingeniería Agrícola

Director:

Ph.D., Msc., Ingeniero Agrícola John Fabio Acuña Caita

Línea de Investigación:

Adecuación de tierras

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2019

Dedicatoria

A Dios y a mis padres.

Aquel que desea convertirse en maestro, debe empezar por enseñarse a sí mismo antes de enseñar a los demás. Pues aquel que se enseña a sí mismo y rectifica sus propios procedimientos, merece más respeto y estimación que el que enseña y corrige a otros, eximiéndose a él mismo.

Gibran Jalil Gibran

**EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE LA ACUMULACIÓN
DE NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv
Albión).**

Agradecimientos

La autora extiende un especial agradecimiento a los jurados de tesis, el Doctor Alfonso Parra y el Doctor Manuel Iván Gómez por la revisión y valiosos aportes a este manuscrito.

Al Doctor Fabio Acuña director de esta tesis por su apoyo incondicional y su guía durante la elaboración de esta investigación.

Al Doctor Jaime Torres Bazurto y el Doctor Jesús Efrén Ospina por su asesoría en la elaboración de esta investigación y sus aportes en la escritura de este documento.

Al Doctor Alexis Valery y al Doctor Enrique Darghan por su colaboración en el área de estadística.

A la directora del laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Doctora Martha Cecilia Henao, quien autorizó la realización de los análisis nutricionales y al equipo de trabajo del Laboratorio de química de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Al director del laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias, Doctor Aníbal Herrera, quien autorizó la realización de los análisis de calidad de la fruta y al equipo de trabajo del Laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Al Grupo de investigación de Gestión en Tecnología e Innovación en Biosistemas de la Universidad Nacional, por su trabajo en campo.

RESUMEN

La fertilización es importante para la expresión del potencial genético de la planta, su adecuado crecimiento y desarrollo y el alto rendimiento de los cultivos; esta práctica está directamente relacionada con la absorción de nutrientes, la cual depende en gran medida de la transpiración de la planta, proceso regulado por variables climáticas. El objetivo de este estudio es determinar el efecto de los factores climáticos (Temperatura, Humedad relativa y Radiación Solar) en la absorción de nutrientes (N, K y Ca) en plantas de fresa (*Fragaria ananassa*) cv Albión. Las plantas fueron sembradas en dos ambientes, Campo abierto y Macro túnel. Durante tres meses se tomaron datos hora a hora de las variables climáticas y cada 15 días se realizaron muestreos nutricionales y de calidad de la fruta en los dos ambientes. Se encontró que los valores de Radiación PAR y de Humedad relativa fueron mayores en campo abierto, mientras que los valores de Temperatura fueron mayores en macro túnel. La concentración de N, K y Ca tanto en hojas como en frutos fue mayor en Macro túnel que a campo abierto, las condiciones de mayor temperatura, menor humedad relativa y menor radiación PAR favorecieron un mayor contenido de N y K en hojas y K, Ca en frutos. El contenido N en frutos no se vio afectado por las condiciones de temperatura y radiación PAR. El contenido de Ca en hojas no se vio influenciado por las condiciones de temperatura y radiación PAR, pero si presentó una relación negativa directa con la humedad relativa. A su vez, un mayor contenido de K y Ca en frutos asociado a condiciones de mayor temperatura, menor radiación PAR y menor Humedad relativa favorecieron un mayor contenido de sólidos solubles totales y una mayor firmeza, que pudieron generar frutos más dulces y firmes.

Palabras clave: Macro túnel, Nutrición, Clima, Fresa, Calidad.

ABSTRACT

Fertilization is important to express the genetic potential of plants, its proper growth and development in addition to the high yield of crops, this practice, is directly related with nutrient absorption, and this in turn, depends to a large extent on transpiration of plants, process that is regulated by climatic variables. The aim of this study was to determine the effect of the climate variables on the nutrients absorption in strawberry (*Fragaria ananassa* Deuch cv Albion). The strawberries plants were planted into two environments, open field and Macro Tunnel and data about climatic variables were taking every hour for three months and every 15 days were taking nutritional and quality samples in both environments. As a result was found that relative humidity and PAR radiation values were higher in open field while the temperature values were higher in Macro Tunnel. It was also found leaves and fruits with higher N, K and Ca concentration in Macro Tunnel than open field. Higher temperature, lower PAR radiation and lower relative humidity favored a higher content of N and K in leaves and K and Ca in fruits. Content of N in fruits was not affected by temperature and PAR radiation conditions, in the same way content of Ca in leaves was not affected by temperature and PAR radiation conditions but it did present a negative directly relation with relative humidity. Also, higher content of K and Ca in fruits together with higher temperature conditions, lower PAR radiation and lower Relative Humidity favored a higher content of total soluble solids and a greater firmness generating sweeter and firmer fruits.

Key words: Macro Tunnel, Nutrition, Climate, Strawberry, Quality.

Contenido

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
Índice de Figuras	11
Índice de tablas	13
1. INTRODUCCION	14
2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.1 Influencia de las condiciones climaticas en la absorcion de nutrientes	16
2.1.1 Radiación	17
2.1.2 Temperatura	20
2.1.3 Humedad relativa	22
2.2 Nutrientes	23
2.2.1 Nitrógeno (N)	24
2.2.2 Potasio (K)	26
2.2.3 Calcio (Ca)	29
3. OBJETIVO	33
4. MATERIALES Y METODOS	54
4.1 Ubicación	54
4.2 Material vegetal	54
4.3 Manejo del cultivo	55
4.4 Tratamientos	55
4.5 Medición de variables	55
4.5.1 Variables climáticas	56

4.5.2 Elementos Minerales.....	56
4.5.3 Variables de calidad de fruta	57
4.6 Herramientas estadísticas.....	58
4.7 Modelación.....	59
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	60
5.1 Modelo de Vensim propuesto	60
5.2 Variables climáticas	63
5.2.1 Radiación PAR.....	63
5.2.2 Temperatura.....	66
5.2.3 Humedad relativa.....	68
5.2.4 Correlaciones entre las variables climáticas.....	70
5.3 Acumulación de nutrientes	71
5.3.1 Comparación de los contenidos nutricionales entre ambientes estudiados	71
5.3.2 Correlación de datos de nutrición	76
5.3.4 Análisis de varianza (ANOVA).....	77
5.3.5 Relación de las variables climáticas y nutricionales	77
5.3.6 Efecto de la Temperatura	78
5.3.6.1 Efecto de la temperatura en la acumulación de N.....	78
5.3.6.2 Efecto de la temperatura en la acumulación de K	79
5.3.6.3 Efecto de la temperatura en la acumulación de Ca	79
5.3.7 Efecto de la radiación PAR.....	79
5.3.7.1 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de N	79
5.3.7.2 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de K.....	79
5.3.7.3 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de Ca	80
5.3.8 Efecto de la humedad relativa.....	80
5.3.8.1 Efecto de la humedad relativa en la acumulación de N	80
5.3.8.2 Efecto de la Humedad relativa en la acumulación de K.....	80
5.3.8.3 Efecto de la Humedad relativa en la acumulación de Ca	81
5.4 Calidad del fruto	82
5.4.1 Firmeza	82
5.4.2 Color	83
5.4.3 Solidos Solubles Totales - °Brix	84

5.4.4 Acidez Total Titulable.....	85
5.4.5 Peso fresco de la fruta.....	86
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
6.1 Conclusiones	90
6.2 Recomendaciones	91
ANEXO A. Modelo de Vensim	91
Ecuaciones implementadas en el modelo	91
Tabla del ajuste del modelo.....	92
Figuras comparativas entre lo simulado y lo experimental	92
ANEXO B. DESCOMPOSICIÓN DE LA SERIE DE TIEMPO	96
ANEXO C. Correlación entre variables climáticas	98
ANEXO D. CORRELACIONES ENTRE CONTENIDOS NUTRICIONALES	100
ANEXO E. ANOVA (Análisis univariante).....	101
ANOVA para N en hojas según el sitio	101
ANOVA para N en frutos según el sitio	101
ANOVA para K en hojas según el sitio.....	101
ANOVA para K en frutos según el sitio.....	101
ANOVA para Ca en hojas según el sitio	101
ANOVA para Ca en frutos según el sitio	102
ANOVA para Solidos solubles totales según el sitio	102
ANOVA para Color según el sitio	102
ANOVA para firmeza según el sitio	102
ANOVA para Acidez total titulable según el sitio.....	102
ANOVA para Peso de la fruta según el sitio.....	103
ANEXO F. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y NUTRICIONALES	104
ANEXO G. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y LOS PARAMETROS DE CALIDAD.....	105
ANEXO H. CORRELACION DE LA ACUMULACION DE NUTRIENTES Y LOS PARAMETROS DE CALIDAD.....	106

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo del comportamiento de los nutrientes N, K y Ca en hojas y frutos de plantas de fresa evaluadas. Fuente elaboración y formulación propia.	61
Figura 2. Modelo de simulación de las características del fruto en base al contenido nutricional. Fuente elaboración y formulación propia.	61
Figura 3. Comportamiento de la media horaria para un día típico de la radiación PAR en campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.	65
Figura 4. Comparativo de la radiación PAR diaria del periodo de estudio en campo abierto y Macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.	66
Figura 5. Comparativo de temperatura media horaria para un día típico a campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.	67
Figura 6. Comparativo de Temperatura media diaria del periodo de estudio campo abierto (TCA) y macro túnel (TMT). Fuente elaboración y formulación propia.	68
Figura 7. Comparativo de humedad relativa media horaria para un día típico a campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.	69
Figura 8. Comparativo de Humedad relativa media diaria del periodo de estudio campo abierto y Macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.	70
Figura 9. Comparación del contenido de N, K y Ca en hojas en los dos ambientes (NHC: Nitrógeno en hojas campo abierto, NHT: Nitrógeno en hojas macro túnel, KHC: Potasio en hojas campo abierto, KHT: Potasio en hojas macro túnel, CHC: Calcio en hojas campo abierto, CHT: Calcio en hojas macro túnel). Fuente elaboración propia.	72
Figura 10. Comparación del contenido de N, K y Ca en frutos en los dos ambientes (NFC: Nitrógeno en frutos campo abierto, NFT: Nitrógeno en frutos macro túnel, KHC: Potasio en frutos campo abierto, KFT: Potasio en frutos macro túnel, CFC: Calcio en frutos campo abierto, CFT: Calcio en frutos macro túnel). Funte elaboración y formulación propia.	755
Figura 11. Contenido de N (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.	77
Figura 12 Contenido de K (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.	788
Figura 13. Contenido de Ca (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.	78
Figura 14. Comparación de la firmeza en Newtons (N) entre ambientes.	83
Figura 15. Comparación de color, parámetro a*, entre ambientes.	84
Figura 16. Comparación de contenido de solidos solubles totales entre ambientes.	85
Figura 17. Comparación de la acidez total titulable entre ambientes.	86
Figura 18. Comparación del peso fresco de los frutos entre ambientes.	86
Figura 19. Comparación de los datos experimentales y simulados de la acumulación de N en los dos ambientes.	92
Figura 20. Comparación de los datos experimentales y simulados de la acumulación de K en los dos ambientes.	93
Figura 21. Comparación de los datos experimentales y simulados de la acumulación de Ca en los dos ambientes.	93
Figura 22. Comparación de los datos experimentales y simulados de la acidez total titulable en los dos ambientes.	94
Figura 23. Comparación de los datos experimentales y simulados del contenido de solidos solubles totales en los dos ambientes.	94
Figura 24. Comparación de los datos experimentales y simulados del color en los dos ambientes.	94
Figura 25. Comparación de los datos experimentales y simulados de la firmeza en los dos ambientes.	94
Figura 26. Comparación de los datos experimentales y simulados del peso fresco de la fruta en los dos ambientes.	95
Figura 27. Descomposición de la serie de tiempo temperatura (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel.	96

Figura 28. Descomposición de la serie de tiempo Humedad relativa (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel.....	96
Figura 29. Descomposición de la serie de tiempo Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro tunel.....	97
Figura 30. Correlación entre la Temperatura y la Humedad relativa (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)	98
Figura 31. Correlación entre la Temperatura y la Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)	98
Figura 32. Correlación entre la Humedad relativa y la Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)	99

Índice de tablas

Tabla 1. Estudios realizados sobre la absorción de N en plantas de fresa en diferentes variedades y países.....	26
Tabla 2. Estudios realizados sobre la absorción de K en plantas de fresa en diferentes variedades y países.....	28
Tabla 3. Estudios realizados sobre la absorción de Ca en plantas de fresa en diferentes variedades y países.....	32
Tabla 4. Aporte de elementos minerales (ppm) en el fertirriego durante el desarrollo de la investigación.....	55
Tabla 5. Comparación del valor relativo de contenido de N en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio	73
Tabla 6. Comparación del valor relativo de contenido de K en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio	73
Tabla 7. Comparación del valor relativo de contenido de Ca en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio	74
Tabla 8. Relación de absorción de nutrientes en diferentes variedades	75
Tabla 9. Evaluación del ajuste del modelo mediante diferentes estadísticos	92
Tabla 10 Correlación de variables climáticas.....	100
Tabla 11. Correlación de las variables climáticas y nutricionales.....	104
Tabla 12 Correlación entre las variables climáticas y los parámetros de calidad.....	105
Tabla 13. Colación entre la acumulación de nutrientes y los parámetros de calidad	106

1. INTRODUCCION

El rendimiento y crecimiento de los cultivos no solo está relacionado con factores del suelo y la planta, sino que además está influenciado por los factores del clima inherentes al ecosistema en el cual las plantas crecen (Castillo, 2003; Noreña *et al.*, 2013).

Actualmente los fenómenos climáticos son más frecuentes e impredecibles (Latiff, 2009), entre estos el niño y la niña que de acuerdo con Cai (2018), aumentarán en las próximas décadas debido al cambio climático.

Estos fenómenos cada vez más frecuentes han generado que la agricultura colombiana afronte grandes retos para adaptarse a las variaciones climáticas, ya que estas tienen un fuerte impacto en el rendimiento y calidad de las cosechas dado que favorecen los cambios en los procesos fisiológicos y el desbalance hormonal de las plantas (Lau *et al.*, 2011; Nelson, 2009)

Con el cambio climático se presentan aumentos en la temperatura y la radiación solar y modificaciones en la precipitación y la humedad relativa (Jarma-Orozco *et al.*, 2007), lo cual afecta la tasa transpiratoria de la planta y por ende la entrada y distribución de nutrientes, comprometiendo entre otras cosas el rendimiento y la calidad de los cultivos (Pozo, 2017).

El Cultivo de fresa ha tomado relevancia para la agricultura Colombiana debido a su competitividad, alto rendimiento, sus propiedades nutricionales y de calidad y su gran número de variedades comerciales entre las que se encuentran, San Andreas, Monterey, Albión, Lucia, Sabrina, Scarlet, Sweet Ana, Camarrosa, Portola, Chandler, Palomar, Gran Oso, Festival, Camino Real y Ventana, lo cual ha favorecido el aumento de su mercado a nivel nacional e internacional (Flórez y Mora, 2010; Ferrucho y Ruiz, 2014).

De acuerdo con lo reportado por la cadena productiva de la fresa, para 2017 se produjeron 56.846 toneladas de fresa, siendo Cundinamarca con el 71%, el departamento con mayor producción, en el cual se destaca la Sabana de Bogotá, en donde se presentan adecuadas condiciones agroclimáticas que permiten tener una buena calidad, rendimiento y productividad (Piedrahita y Flórez, 2011; Ferrucho y Ruiz, 2014).

Sin embargo, dada la susceptibilidad del cultivo a las condiciones adversas de clima, este se ha visto afectado por fenómenos como el del niño sucedido entre 2015 y 2016, el cual afectó la calidad de la fruta, la cosecha y el rendimiento del cultivo de tal manera que la producción interna no pudo satisfacer la necesidad de consumo nacional y fue necesario importar fruta desde Chile (Cadena productiva de la fresa, 2017). Por lo que se hace necesario conocer el manejo óptimo de los factores comprendidos en el sistema planta-clima y su combinación en el logro de un buen manejo del cultivo que repercuta en un alto rendimiento.

La fresa puede ser cultivada desde los 0 a los 3000 msnm, sin embargo, en Colombia se encuentran cultivos comerciales desde los 1800 a los 2800 msnm, ya que en este rango de altura las condiciones son similares a las de primavera por lo que se presenta inducción floral durante todo el año (Flórez y Mora, 2010). Es exigente respecto a las características físicas del suelo, prefiriendo suelos ligeros, bien drenados, texturas franco o franco arenoso con una buena capa orgánica, fértil con un pH entre 5,7 a 6,5 y poco salinos debido a su alta sensibilidad (Sosa y Villegas, 2017). Requieren de aproximadamente 3000 horas de luz año⁻¹ para una adecuada inducción floral y la obtención de frutos con buenas características nutricionales y de calidad (Flórez y Mora, 2010), necesita una Humedad relativa de 60 a 75%, temperaturas óptimas en el día de 15°C a 25°C y en la noche entre 8°C a 13°C y presenta un requerimiento hídrico de 400 a 600 mm año⁻¹ (Cámara de comercio, 2013; Flores, 2011). Este cultivo se ve afectado por interacciones entre factores como temperatura, humedad relativa, altitud, latitud y las características de suelo (textura, estructura, salinidad y nutrición), por lo que es importante conocer sus requerimientos específicos (Palencia *et al*, 2013; Mendieta, 2011).

Durante el ciclo de cultivo de la fresa el fotoperiodo y el termoperiodo desempeñan un papel muy importante ya que determinan la inducción floral y la producción (Mendieta, 2011; Ghini *et al* 2011; Palencia, 2013; Krüger *et al*, 2012); sin embargo, debido a que las especies cultivadas en Colombia son de día neutro solo el termoperiodo es importante, ya que una mayor diferencia entre el día y la noche genera un mejor balance entre el estado vegetativo y reproductivo de la planta (Ferrucho y Ruiz, 2014; Bianchi, 2018).

La nutrición es otro de los factores importantes en el cultivo de fresa; Quezada (2016) y Lopez *et al.*, (2004) mencionan que este es muy exigente en cuanto al requerimiento nutricional debido a su alto rendimiento, a la producción de frutos de manera rápida y

continua y a lo poco profundo de sus raíces. Este cultivo necesita la aplicación de Nitrógeno (N) ya que influye en el crecimiento vegetativo y la productividad, su exceso reduce la inducción floral, retrasa la floración, aumenta la tasa respiratoria y conduce a menor concentración de pectinas que aceleran su deterioro (Netsby *et al.*, 2005; Ojeda-Real *et al.*, 2009). El fósforo (P) estimula el desarrollo de raíces y la floración, su deficiencia disminuye el tamaño de las flores, favorece el albinismo, aumenta la acidez y deteriora el aroma (Hochmuth *et al.*, 2010; Agüero, 2012). El Potasio (K) participa en la absorción de agua, en la fijación de CO₂, en la regulación de la apertura y cierre estomático y en el transporte de azúcares (Netsby *et al.*, 2005; Avitia *et al.*, 2014). El Calcio (Ca) es importante en la firmeza del fruto ya que estabiliza la pared celular, en la división celular, la síntesis de hormonas y la regulación metabólica (San Bautista *et al.*, 2009; Agüero, 2012). El Magnesio (Mg) es un importante componente de la molécula de clorofila, activador de enzimas y participa en la síntesis de proteínas (Netsby *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2006). El azufre (S) es componente fundamental de algunos aminoácidos, activador metabólico y participa en la síntesis de algunas proteínas (Agüero y Kirschbaum, 2013). El Hierro (Fe) interviene en la formación de la clorofila, la respiración y la síntesis de proteínas (Netsby *et al.*, 2005; Trejo-Tellez y Gomez-Merino, 2014). El Boro (B) participa en la división celular, la polinización y el cuajado del fruto, el transporte de azúcares y almidones y la síntesis de aminoácidos (Avitia *et al.*, 2014). El Zinc (Zn) está involucrado en la producción de clorofila, en el desarrollo de la raíz, en actividades enzimáticas y en la síntesis de triptófano (Domoto, 2011). El Manganeseo (Mn) participa en la activación metabólica y en la síntesis de hormonas (Agüero y Kirschbaum, 2013; Netsby *et al.*, 2005).

La dosis de fertilización recomendada para fresa varía según la zona de producción; por ejemplo, en la zona de Florida, Estados Unidos, de acuerdo con Peres *et al.* (2010) la recomendación de fertilización es de 171 kg.ha⁻¹ N, 75 kg.ha⁻¹ P, y 143 kg.ha⁻¹ K, 48 kg.ha⁻¹ Ca, mientras que Cadahía-López *et al.* (2005) mencionan que en Huelva, España la recomendación es de 190 kg.ha⁻¹ N, 86 kg.ha⁻¹ P, y 152 kg.ha⁻¹ K, 61 kg.ha⁻¹ Ca 190 kg/ha, también, Kirschbaum *et al.* (2006) reportan en Tucumán, Argentina que la recomendación para el cultivo de frutilla es de 155 kg.ha⁻¹ N, 75 kg.ha⁻¹ P, y 143 kg.ha⁻¹ K, 30 kg.ha⁻¹ Ca.

Estudios como los de Esmel *et al.* (2004), Cadahía-López *et al.* (2005), Tagliavini *et al.* (2005), Kirschbaum *et al.* (2006), Fageria *et al.* (2008), Peres *et al.* (2010), Avitia *et al.* (2014) y Castro (2017) reportan que la absorción de nutrientes en el cultivo de fresa en hojas

es N>K>Ca>P>Mg y en frutos K>N>Ca>P>Mg por lo que el desarrollo de este trabajo de investigación se centrará en los tres nutrientes que más requiere y absorbe la planta.

2. MARCO CONCEPTUAL

El principal proceso que permite la absorción de nutrientes en la planta es la transpiración la cual está fuertemente influenciada por los factores ambientales en donde la radiación, la temperatura y la humedad relativa desempeñan un rol importante (Carrillo-Hernández *et al.*, 2014). Este proceso se realiza a través de los poros del aparato estomático, generando un gradiente de presión negativo en la planta, el cual combinado con la capilaridad del xilema, producen la fuerza que permite la entrada de agua y nutrientes disueltos desde la raíz hasta las hojas (Lake y Woodward, 2008; Carins *et al.*, 2014).

La relación de las variables climáticas y la absorción de nutrientes se ha presentado en estudios como el de Klaring *et al.* (1999), quienes trabajando con tomate y pimienta dulce bajo invernadero concluyeron que la absorción diaria de nutrientes está relacionada con la absorción de agua y las condiciones micro climáticas de radiación, temperatura y humedad relativa en el invernadero y el de Xu *et al.* (2007), quienes evaluaron el efecto de la humedad relativa en la actividad fisiológica, el rendimiento y la calidad de tomate en invernadero y concluyeron que el incremento de la humedad relativa disminuye la transpiración, reduce la captación de agua y restringe el transporte de nutrientes a través de la planta.

2.1 Influencia de las condiciones climáticas en la absorción de nutrientes

2.1.1 Radiación

La radiación no solo es la fuente más importante de energía, que tiene una fuerte influencia en los factores ambientales que afectan la producción de materia seca y el rendimiento de los cultivos, sino que también es el factor más importante que afecta los procesos fundamentales de las plantas. La cantidad de radiación solar disponible influye en procesos fisiológicos, morfológicos, anatómicos y genéticos tales como la fotosíntesis, la conductancia estomática, la transpiración, la temperatura de la hoja y el crecimiento de la planta (Patil *et al.*, 2001; Fischer y Perez, 2014; Restrepo *et al.*, 2010; Casierra y Peña- Olmos, 2015).

Las plantas perciben la radiación solar de tres formas: la intensidad lumínica (cantidad de energía por unidad de tiempo), la calidad de la luz (distribución del espectro de radiación) y

distribución en el tiempo y el espacio, entendido como fotoperiodo (Fischer y Pérez, 2014; Restrepo *et al*, 2010).

El crecimiento y desarrollo de la planta están fuertemente influenciados por la intensidad y calidad de la luz capturada por los órganos que realizan la fotosíntesis. Cambios en alguno de estos factores afectan la anatomía y fisiología de la planta (Nasrullahzadeh *et al*, 2007; De Alvarenga *et al*, 2003; Casierra *et al* 2014).

Dentro del espectro solar que es recibido en la biosfera de la tierra aproximadamente el 43% es aprovechado por las plantas para realizar la fotosíntesis; esta franja se conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR) y se encuentra en el rango de 400 a 700 nm. Sin embargo, de esta la región de los 400 a 500 nm (azul) y de 600 a 700 nm (rojo) son los más eficientes, siendo la primera la zona más energética y de mayor efecto formativo y la última la zona de mayor absorción por la clorofila; la zona de 500 a 600 nm es de baja actividad fotosintética (Meisel *et al*, 2007; Taiz y Zeiger, 2006; Casierra y Peña-Olmos, 2015).

La calidad de la luz, entendida como el color y la longitud de onda interceptada por la planta, afecta la tasa fotosintética, favoreciendo una mayor producción de azúcares y materia seca, la fotomorfogénesis, la respuesta al fotoperiodo y la tasa de asimilación de CO₂ (Inoue *et al*, 2008; Casierra y Peña-Olmos, 2015). La calidad de la luz interceptada está determinada por mecanismos foto selectivos específicos que le permitan a la planta realizar procesos como la fotosíntesis (Gupta y Tripathy, 2010; Meisel *et al*, 2007). Dichos mecanismos se componen por diferentes tipos de foto receptores algunos de estos como los criptocromos y fototropinas que capturan la luz de la franja UV-A y el azul, la clorofila absorbe la radiación de las franjas azul y roja, los carotenoides absorben la radiación de las franjas amarillo y verde, mientras que el fitocromo recibe la luz de la franja del rojo y el rojo lejano; tanto los criptocromos, fototropinas, carotenoides y los fitocromos pueden cambiar energía con la clorofila para ayudar en el proceso. (Wang *et al*, 2009; Meisel *et al*, 2007; Leite *et al*, 2008).

La intensidad de luz es un factor muy importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas, cada especie tiene requisitos diferentes en cuanto a esta y una deficiencia o exceso sería perjudicial para ella (Hamlyn *et al*, 2003; Nasrullahzadeh *et al*, 2007). Si es deficiente disminuye la tasa fotosintética mientras que se mantiene la respiración llegando a un equilibrio conocido como punto de compensación luminoso, donde el intercambio de CO₂ es cero y se genera una baja disponibilidad de carbohidratos para el crecimiento, desarrollo y

producción de la planta (Farquhar *et al.*, 2001; Singsaas *et al.*, 2001). De igual manera si la intensidad lumínica es excesiva el rendimiento de los cultivos se puede ver afectado por disminución en el contenido de clorofila que reduce la absorción de luz y la tasa fotosintética, además dado que la intensidad de luz se asocia con el aumento de la temperatura esto genera un incremento en la tasa transpiratoria, una disminución en el contenido de agua de la planta, pérdida de turgencia de los estomas y reducción en la velocidad de difusión del CO₂ en las hojas, produciendo a su vez baja tasa fotosintética (Farquhar *et al.*, 2001; Singsaas *et al.*, 200; Nguy-Robertson *et al.*, 2015).

De acuerdo con Casierra *et al.* (2012) el crecimiento de plantas de fresa y su formación de frutos está muy relacionada con el aprovechamiento de la luz, ya que la reducción en la intensidad lumínica afecta la inducción floral, cuajado, tamaño, calidad y color de los frutos, reduce el contenido de materia seca, la acumulación de azúcares y ácido ascórbico (Fischer y Pérez, 2014).

La relación de la absorción de nutrientes con la radiación ha sido reportada en estudios como el de Medrano *et al.* (2004), en el que se determinó el efecto de dos sistemas de refrigeración (sombreado móvil y nebulización) sobre la absorción de nutrientes en un cultivo de tomate, dándose como conclusión que la intensidad de radiación ejerce mayor influencia en la absorción de nutrientes que el nivel de humedad relativa. Otro estudio sobre esta relación fue el realizado por Gázquez *et al.* (2006), en el que se analizó la respuesta de rendimiento de un cultivo de pimiento dulce a diferentes métodos de enfriamiento de invernadero donde concluyeron que una mayor intensidad de radiación incidente favorece una tasa de crecimiento mayor y una mayor demanda de N, K y Ca. También Adams (1991) realizó un estudio donde evaluó el efecto de la fluctuación diurna de la humedad en la acumulación de nutrientes en hojas de tomate y encontró que la radiación solar está estrechamente ligada a la captación de N, K y Ca.

En la literatura no se encontraron antecedentes de estudios que relacionen la absorción de nutrientes y la radiación en cultivos de fresa.

Es importante tener en cuenta que todos los factores climáticos se relacionan entre sí. En este caso la radiación se relaciona con la temperatura ya que de toda la radiación que tiene capacidad fotosintética (radiación PAR) cerca del 95% se transforma en calor y que es el balance entre la energía de la radiación junto con la emitida por la tierra la que determina la

temperatura de la superficie terrestre (Jarma *et al* 2005; Zúñiga y Crespo, 2010).

2.1.2 Temperatura

La temperatura es uno de los factores climáticos de mayor importancia en el comportamiento fisiológico de las plantas, la cual incide en la mayoría de los procesos metabólicos como la germinación de semillas, el crecimiento, la floración, la fructificación, la maduración, la fotosíntesis, la respiración, la apertura y cierre estomático, la división celular, la acumulación de azúcares y almidón, la absorción de agua, la absorción y utilización de nutrientes y la transpiración (Morales *et al*, 2006; Wahid *et al*, 2007; Ledesma *et al*, 2008).

La mayoría de las reacciones químicas de las plantas tienen una temperatura óptima de funcionamiento la cual está asociada a las características específicas de la especie y el medio donde esta habita (Flores, 2011). Tanto las temperaturas bajas como las altas afectan la velocidad de las reacciones químicas, la actividad enzimática, la integridad de la membrana celular, los cambios en la estructura y actividad de las macromoléculas y los cambios en el estado del agua (Morales *et al*, 2006; Fernández y Johnston, 2006). Las bajas temperaturas reducen la tasa fotosintética, al disminuir la síntesis de clorofila y carotenoide; reducen la tasa de crecimiento, la velocidad de las reacciones enzimáticas y la conductividad hidráulica de las raíces ocasionando un severo estrés hídrico en la planta; también participan en el control estomático, la síntesis y transporte de hormonas principalmente la giberelina, en la generación de daños físicos en los cloroplastos, en la inducción floral, la inducción y terminación de la dormancia en semillas y yemas y la formación de los tubérculos, bulbos y cormos (Melgar *et al*, 2008; Lopez *et al*, 2007; Benavides- Mendoza, 2002 ; Zhang *et al*, 2005).

Las altas temperaturas incrementan la energía cinética de las moléculas generando una mayor velocidad de reacción (Restrepo *et al*, 2010; Morales *et al*, 2006). Temperaturas muy altas pueden provocar en pocos minutos graves lesiones e incluso la muerte celular, mientras que temperaturas moderadamente altas luego de una prolongada exposición pueden generar desnaturalización y agregación de proteínas, mayor fluidez de los lípidos de la membrana, inactividad de las enzimas de los cloroplastos y las mitocondrias, inhibición de la síntesis de proteínas y de RNA, flujo iónico reducido, formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), disminución del estado de activación de la rubisco y aumento de la tasa respiratoria y foto respiratoria reduciendo el contenido de carbono asimilado, además afecta la fotosíntesis inactivando varias enzimas que trabajan en la fijación del carbono (Restrepo *et*

al, 2010; Morales *et al*, 2006; Wahid *et al*, 2007; Ledesma *et al*, 2008; Fernández y Johnston, 2006; Benavides-Mendoza, 2002; Camejo *et al*, 2005).

De acuerdo con Flores (2011), el rango de temperatura óptima para el cultivo de fresa varía entre 6 y 22°C, mientras que Strik (1985), menciona que la temperatura de crecimiento óptima para el cultivo se encuentra de 10 a 26°C y Aspúria *et al.* (1996), reporta que en los cultivos comerciales de los países tropicales como Filipinas la temperatura varía entre 12 y 26°C.

Archbold y Clements (2002), encontraron mayor número de achenios en frutos de fresa cultivados a 20°C que a 32°C; Wang y Camp (2000), mostraron que al aumentar la temperatura se reducía el crecimiento general de la planta de fresa, así como el tamaño y peso de la fruta y Wang y Lin (2006), encontraron diferencias en el contenido de lípidos en la membrana de cultivares expuestos a temperaturas en aumento.

La temperatura también presenta una relación importante con la nutrición de las plantas, Sonneveld (2003), afirma que la concentración de absorción de nutrientes puede cambiar dependiendo de las condiciones de crecimiento de las plantas y que son generalmente más altas en clima moderado que en zonas cálidas. Hernández *et al.* (2009), encontraron que las plantas de tomate cultivadas a temperaturas elevadas aumentan la absorción de K, ya que este elemento es requerido para controlar la transpiración y el incremento de la respiración. También Adams (1991), realizó un estudio en el que evaluó el efecto de la fluctuación diurna de la humedad en la acumulación de nutrientes en hojas de tomate y encontró que la captación de N, K y Ca estuvo estrechamente relacionada con la temperatura del aire.

En Cultivos de fresa Dermirsoy *et al.* (2010), realizaron un estudio de las variaciones estacionales del contenido de N, P, K y Ca en la hoja, raíz y corona del cultivar Sweet Charlie bajo tres ambientes diferentes (campo abierto, sombra constante e invernadero) y encontraron que aumentó el consumo de N, P, K y Ca en relación al aumento de las temperaturas en los diferentes ambientes.

Existe también una estrecha relación entre la temperatura y la humedad relativa ya que cuanto más alta sea la temperatura el aire tendrá mayor capacidad de retener vapor de agua, por lo que, si la temperatura aumenta, la humedad relativa disminuirá, al igual que si la temperatura disminuye la capacidad de retener vapor de agua disminuirá aumentando así la humedad relativa (Whitman y Johnson, 2000; Zúñiga y Crespo del Arco, 2010; Abu-Taleb *et al.*, 2007;

Carins *et al.*, 2014).

2.1.3 Humedad relativa

La humedad relativa está directamente relacionada con varios procesos que afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos como son el consumo del agua, la transpiración, la fotosíntesis, la toma de nutrientes y la polinización (Bouranis *et al.*, 2014; Huertas, 2008). Si la humedad relativa es alta, los estomas se cierran, la tasa transpiratoria y la entrada de CO₂ se reducen, por ende la tasa fotosintética es más baja, la toma de agua y nutrientes es más lenta, generando problemas en la absorción de elementos como el calcio que solo se mueve a través de la corriente transpiratoria (Torre *et al.*, 2001; White, 2012; Hovenden *et al.*, 2012). Mientras que, si la humedad del ambiente es baja, los estomas están abiertos y la planta está transpirando; sin embargo, la tasa transpiratoria no tiene relación directa con el déficit de presión de vapor de la planta ya que la tasa de transpiración aumenta hasta un nivel en el que posteriormente la planta comienza a marchitarse, de tal manera que si la humedad es muy baja la planta tiene una alta tasa transpiratoria por lo que se ve forzada a cerrar los estomas para reducir la pérdida de agua; dicho cierre disminuye la entrada de CO₂, reduce la tasa fotosintética y el transporte de nutrientes (Eichert *et al.* 2010; Torre *et al.*, 2001; Leuschner, 2002). Fernández *et al.* (2008), relacionan la alta humedad del ambiente y la baja absorción de agua con el aumento del pH que reduce la disponibilidad de micronutrientes como el Fe para la planta.

En cuanto a la polinización la alta humedad relativa aglomera y pega el polen a las anteras impidiendo el transporte de este al estigma, mientras que la baja humedad relativa reduce la adherencia del polen al estigma (Huertas, 2008).

La humedad relativa al igual que la temperatura tiene unos rangos en los que las plantas pueden mostrar la mejor respuesta, estos dependen de la especie cultivada (Vásquez, 2014). Para fresa de acuerdo con Chiqui *et al.* (2010), el rango de humedad relativa se encuentra entre 60 y 75%, por encima de la cual se presentan problemas de enfermedades como *Botrytis* sp.

La relación de la humedad relativa con la absorción de nutrientes ha sido ampliamente estudiada en varias investigaciones.

Bradfield y Guttridge (1979), evaluaron la dependencia del transporte de calcio y la

quemadura de la hoja en fresa respecto a la humedad relativa y la concentración de la solución nutritiva, concluyendo que el flujo transpiracional es importante en el transporte de calcio de las hojas y que siempre que se vaya a estudiar la deficiencia de calcio en fresa se deben tomar en cuenta la humedad relativa de la noche y la concentración de sal de la solución nutritiva puesto que se observó que estos factores determinan el suministro de calcio en este cultivo.

Bakker (1991), evaluó el efecto de la interacción de la humedad relativa, el suministro de calcio y la conductividad eléctrica (CE) en pepino cultivado en invernadero y concluyó que el crecimiento vegetativo se ve favorecido por la alta humedad de día y de noche, por lo que la aparición de deficiencias de calcio es explicado por la reducción en la transpiración y la alta tasa de crecimiento además que cuando el suministro de calcio es adecuado, el efecto de la humedad en el contenido del nutriente en la hoja y en los síntomas de la deficiencia de este no es significativo, mientras que cuando el suministro de calcio es bajo la humedad tiene un efecto muy significativo.

Adams (1991), evaluó el efecto de la fluctuación diurna de la humedad relativa en la acumulación de nutrientes en hojas de tomate y encontró que, la alta humedad relativa durante la noche redujo los contenidos de Ca, Mg, P y K de la hoja, mientras que durante el día solo redujo los contenidos de Ca y K; en contraparte la baja humedad relativa aumentó el contenido de K y Ca de las hojas, pero disminuyó el contenido de Ca de la fruta. También se observó que la humedad relativa no tuvo efecto significativo en el contenido de N en la hoja.

Cline y Hanson (1992), evaluaron la influencia de la humedad relativa en la acumulación de Calcio en manzana y encontraron que la humedad relativa afecta el nivel de Ca en manzana ya que la acumulación de Ca en la fruta está influenciada por la transpiración de estas a lo largo del desarrollo, resultado que concuerda con lo encontrado por Ehret y Ho (1986) Banuelos et al., (1987) en tomate y por Mix y Marschner (1976a, 1976b), en pimiento y frijol respectivamente.

Torre *et al.* (2001) evaluaron el efecto de la humedad del aire y la relación K/Ca en el suministro de nutrientes sobre el crecimiento y las características poscosecha de las rosas y encontraron que la alta humedad relativa redujo el contenido de calcio en hojas.

De acuerdo con Avitia *et al.* (2014) y Mendieta (2011), los factores climáticos (luz, temperatura y humedad relativa), genéticos, culturales (acolchado plástico, densidad de

plantas, ancho de las camas) y edáficos (contenido de humedad, temperatura del suelo, pH y CE) determinan la absorción de nutrientes por parte de la planta y la respuesta del cultivo a la fertilización. Por lo cual el conocimiento de las condiciones del cultivo y el diagnóstico correcto de la nutrición de la planta son imprescindibles para realizar un adecuado plan de fertilización (Janeiro, 2014).

2.2 Nutrientes

2.2.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos, ya que está presente en la mayoría de las reacciones fisiológicas de la célula y de la planta (Lawlor *et al*, 2001; Maheswari *et al*, 2017).

Desempeña funciones en el crecimiento y desarrollo de la planta. A nivel estructural es necesario para la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento como los aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, vitaminas, clorofila, ácidos nucleicos y lípidos; promueve el crecimiento de raíces, tallos y hojas; influye en el desarrollo del área foliar afectando la producción de materia seca, está involucrado en el establecimiento y mantenimiento de la capacidad y eficiencia fotosintética al mantener la síntesis de ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa, Rubisco, la enzima clave en la fotosíntesis; está relacionado con la función osmótica, asociado al efecto del ion nitrato (NO_3^-) y otras formas reducidas de N en la reducción del potencial hídrico de la vacuola, está involucrada en la dinámica fuente/vertedero y ayuda a la captación de otros nutrientes como K y P (Liu *et al*, 2018b; Leghari *et al*, 2016; Cardenas-Navarro *et al*, 2004; Liu *et al*, 2018c; Sanclemente y Peña, 2008).

La deficiencia de N reduce el tamaño de las células e incrementa el grosor de sus paredes, disminuye la división y expansión celular y reduce el tamaño y número de hojas y frutos, retrasa el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta, disminuye el área foliar reduciendo la cantidad de radiación interceptada, lo cual afecta la fotosíntesis y el rendimiento y calidad (Jarma *et al*, 2010; Fang *et al* 2018; San clemente y Peña, 2008). De acuerdo con Agami *et al*. (2018); Luo *et al*. (2018); Liu *et al*. (2018a); Leghari *et al*. (2016) y Hang *et al*. (2018), el manejo eficiente de la fertilización nitrogenada tiene el potencial de mantener las actividades metabólicas cuando hay un bajo potencial hídrico en los tejidos.

La relación de la absorción de nitrógeno con factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar ha sido reportada en estudios como los de Adams (1991), quien evaluó el efecto de la fluctuación diurna de la humedad en la acumulación de nutrientes en hojas de tomate y Del Amor y Marcelis (2005), quienes realizaron una investigación para determinar el efecto de la humedad del aire en la regulación de la demanda de nutrientes en tomate, estos estudios encontraron que la absorción de N estuvo estrechamente ligada con la radiación y la temperatura del ambiente, pero no se vio afectada por la humedad relativa.

De acuerdo con Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2014), y Chávez-Sánchez *et al.* (2014), el N en las plantas de fresa influye en el desarrollo vegetativo, la productividad y la calidad; la fertilización nitrogenada puede influir en el metabolismo de las pentosas que son importantes para la biosíntesis de L-arabanos y D-xilanos, los cuales participan en la formación de raíces, estolones, hojas y frutos (Ojeda-Real *et al.*, 2008).

Lovaisa *et al.* (2016) y Chávez-Sánchez *et al.* (2014), afirman que, en las plantas de fresa, la deficiencia de N disminuye el vigor de las plantas y la productividad, mejora la calidad organoléptica y reduce la síntesis de antocianinas, aumenta la susceptibilidad a enfermedades. La dosis adecuada de fertilización nitrogenada favorece la acumulación de compuestos relacionados con la calidad sensorial y nutricional del fruto (Ojeda-Real *et al.*, 2008; Sprogis *et al.*, 2017), mientras que el exceso aumenta el vigor de las plantas, reduce la inducción floral, atrasa la floración y la maduración, reduce la calidad de los frutos, disminuye el contenido de sólidos solubles, se presenta pérdida de firmeza, reducción de tamaño y variación en el color (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2014; Lovaisa *et al.*, 2016).

La absorción de nitrógeno en fresa ha sido estudiada por algunos autores en diferentes variedades, en la tabla 1 se presenta un resumen de dichos trabajos:

Tabla 1

Estudios realizados sobre la absorción de N en plantas de fresa en diferentes variedades y países.

VARIEDAD	PAIS	ABSORCION g. ha ⁻¹	AUTOR
Idea	Italia	94	Tagliavini <i>et al.</i> (2004)
Marmolada		70	
Elsanta	Francia	115	Raynal-Lacroix <i>et al.</i> (1999)
Gariguette		180	
Korona	Noruega	289	Netsby <i>et al.</i> (2005)
Elsanta	Bélgica	125	Lieten y Misotten 1993)
Albión	México (Michoacán)	151	Aguilar (2011)
Roxana	México (Chapingo)	174	Avitia <i>et al.</i> (2014)

Modificado de Castro, (2017)

En la absorción, translocación y asimilación de N en forma de NO⁻³ el K desempeña un papel importante ya que este elemento actúa en la síntesis y activación de la enzima Nitrato Reductasa, considerada la enzima clave en la asimilación de N en la planta (Ali *et al.*, 2018; Hafeez *et al.*, 2018).

2.2.2 Potasio (K)

El potasio (K) es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, que desempeña una importante función en varios procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos, como el mantenimiento del potencial osmótico, la homeostasis del pH citoplasmático, el equilibrio de carga, la activación de enzimas, la neutralización eléctrica, la translocación de fotosintatos, la regulación estomática, el crecimiento axial, los tropismos y la captación de agua y nutrientes; además, tiene una influencia positiva en la calidad de la fruta, el rendimiento y la tolerancia al estrés biótico y abiótico. (Wang y Wu, 2017; Zsivanovits *et al.*, 2014; Qi *et al.*, 2018).

Este elemento es esencial para la fotosíntesis, la apertura y cierre estomático, el transporte de agua y nutrientes y para el enfriamiento de la planta (Taiz y Zeiger, 2006). Cuando el K entra en las células de guarda de los estomas, se acumula agua por osmosis, aumentando el volumen y abriendo los estomas, momento en el cual ocurre el intercambio de CO₂, vapor de agua y Oxígeno entre la planta y el medio. (Taiz y Zeiger, 2006; Mengel, 2007; Mengel, 2007 y Borges, 2017)

El K en el proceso de la fotosíntesis, participa como catalizador, activando enzimas que

regulan la tasa fotosintética e interviniendo en el óptimo funcionamiento del metabolismo fotosintético, la conductancia estomática, la formación de adenosín trifosfato (ATP) y el contenido de Rubisco de las plantas (Ali *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2015; Hafeez *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2012). Igualmente está involucrado en la activación catalítica de cerca de 60 enzimas, entre ellas la ATPasa, favorece la velocidad de las reacciones catalíticas y su concentración en las células y determina la cantidad de reacciones impulsadas por enzimas que se pueden activar en un momento determinado (Taiz y Zeiger, 2006; Zörb *et al.*, 2014). También es requerido como principal soluto en las vacuolas durante la elongación celular ya que se aumenta el potencial osmótico favoreciendo la entrada de agua y la presión de turgencia (Sattara *et al.*, 2018; Zörb *et al.*, 2014). Además de que su aplicación aumenta el peso, calibre, producción de frutos, contenido de sólidos solubles totales, intensifica el color y alarga la vida poscosecha de los productos (Pires, 2010; Hornedo-ortega *et al.*, 2016).

La deficiencia de K reduce la activación de la enzima ATPasa y por lo tanto el transporte de asimilados desde la fuente al vertedero y el desarrollo de la planta (Yadav *et al.*, 2013; Borges, 2017). Ocasiona una reducción en la actividad fotosintética de las hojas, en la tolerancia a estrés especialmente por altas temperaturas, sequía y salinidad, en el crecimiento de la planta, en el crecimiento de los brotes, la floración, la fructificación y en general el desarrollo de la planta, se presenta maduración desigual de los frutos y aumenta la susceptibilidad de las plantas a ataques de patógenos e insectos plaga (Cakmak, 2005; Andriolo *et al.*, 2010). Puede generar problemas en el mecanismo de apertura y cierre estomático, reduciendo la fotosíntesis y la producción de ATP, volviendo más lento todos los procesos dependientes de esta molécula y causando un exceso de electrones, que son desviados para la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Wang *et al.*, 2015; Cakmak, 2005).

Anschütz *et al.* (2014); Demidchik (2014), y Zörb *et al.* (2014), mencionan que niveles medios o altos de K aumentan la tolerancia de las plantas a estrés abiótico como la sequía, salinidad, frío, calor y alta intensidad lumínica; también a estrés biótico como enfermedades fúngicas o bacterianas e insectos plaga.

En el cultivo de fresa el K es considerado el nutriente de la calidad, ya que mejora el aroma, sabor, color, calibre y firmeza de las frutas y aumenta el contenido de ácido ascórbico y sólidos solubles totales. También confiere una mayor vida útil y aumenta el tiempo de

productividad de la planta (Cakmak, 2017; Andriolo *et al.*, 2009; Pires, 2010).

En cuanto a la relación de la absorción de K con los factores climáticos temperatura, radiación solar y humedad relativa, existen estudios como el realizado por Adams (1991) en el cual se concluye que la absorción de potasio está estrechamente relacionada con la radiación, la temperatura del aire y la humedad relativa; este estudio también concluye que la concentración de K en la hoja se ve influenciada por la humedad relativa presentando una correlación negativa, conclusión que es contraria a la hallada por Del Amor y Marcelis (2005), quienes también trabajaron con tomate, pero encontraron que la concentración de K en las hojas no había sido influenciada por la humedad relativa.

Otro estudio sobre esta relación fue el realizado por Torre *et al.* (2001), quienes evaluaron el efecto de la humedad del aire y la relación K/Ca en el suministro de nutrientes sobre el crecimiento y las características poscosecha de las rosas y encontraron que no había un efecto significativo de la transpiración en el contenido de K en hojas, dada la alta movilidad de este nutriente en el floema y que cuando se presenta una alta relación K/Ca se genera deficiencia de este último, dado que el K elimina el Ca de la superficie externa de la membrana plasmática y debilita la estructura de la misma.

La absorción de potasio en fresa ha sido estudiada por algunos autores en diferentes variedades, en la tabla 2 se presenta un resumen de dichos trabajos:

Tabla 2

Estudios realizados sobre la absorción de K en plantas de fresa en diferentes variedades y países.

VARIEDAD	PAIS	ABSORCION g. ha ⁻¹	AUTOR
Idea	Italia	131	Tagliavini <i>et al.</i> (2004)
Marmolada		96	
Elsanta	Francia	158	Raynal-Lacroix <i>et al.</i> (1999)
Gariguette		221	
Korona	Noruega	249	Netsby, (2015)
Elsanta	Bélgica	159	Lieten y Misotten 1993)
Albión	México (Michoacán)	427	Aguilar (2011)
Roxana	México (Chapingo)	238	Avitia <i>et al.</i> (2014)

Altos contenidos de K pueden desequilibrar los niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg), dado que estos elementos compiten por los mismos sitios de absorción, este desequilibrio puede reducir la producción, el número de frutos, la calidad organoléptica y el periodo de

conservación de la fruta (Domingo y Bruno, 2001; Andriolo *et al.*, 2010).

2.2.3 Calcio (Ca)

El calcio (Ca) es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, está directamente involucrado en varias reacciones bioquímicas y fisiológicas e incluso funciona como una molécula de detección y señalización (Taiz y Zeiger, 2006; Sharma *t al.*, 2006).

El Ca participa en varios procesos fundamentales como la generación de la estabilidad de la pared y la membrana celular, la división, diferenciación, polaridad, elongación y compartimentalización celular, la transmisión citoplasmática, el tigmotropismo, gravitropismo, fotomorfogénesis, la defensa de las plantas, el equilibrio iónico, la osmoregulación, la respuesta al estrés y como cofactor de enzimas, entre ellas la peroxidasa y amilasa (Belge *et al.*, 2017; Dodd *et al.*, 2010; Shao *et al.*, 2008).

Este elemento desempeña una función estructural promoviendo el desarrollo y la expansión de los tejidos, además de ser un importante constituyente estructural, responsable de mantener la resistencia, retrasar la senescencia principalmente en frutos, en donde también aumenta la resistencia a los daños fisiológicos, mecánicos y microbianos (Hepler y Winship, 2010; Chitarra y Chitarra, 2005).

En la pared celular y la lámina media el Ca reacciona con el ácido péptico que se encuentra allí formando pectato de calcio o pectina, la cual estabiliza la pared celular; también une los fosfatos, los grupos carboxílicos, los fosfolípidos y proteínas generando la estabilidad de la bicapa lipídica de la membrana celular; la deficiencia de este elemento genera la desintegración de todos los componentes principalmente los fosfolípidos (Diaz *et al.*, 2007; Selvendran *et al.*, 2006).

La apertura y cierre estomático es regulado por el Ca ya que este ion usa señales como enlace entre los estímulos extracelulares y las respuestas intracelulares. La entrada de Ca^{+2} y de ácido abscísico (ABA), como hormona reguladora, genera un aumento en la concentración de Ca citoplasmático, por lo cual se presenta salida de los iones K^{+} y Cl^{-} haciendo que la célula pierda turgencia y se reduzca la apertura del ostiolo (Pérez, 2007; Guo *et al.*, 2008).

El Ca desempeña un papel importante en la fotosíntesis ya que por una parte cumple un papel estructural en el ensamblaje de la antena periférica y por otro lado es un ion pegado al fotosistema II, estrechamente relacionado con la lisis de agua (Sanz *et al.*, 2001; Retamales,

2005). Por este motivo la deficiencia de Ca cambia la fotosíntesis, disminuyendo la eficacia de la carboxilación y por ende la capacidad fotosintética global, reduciendo la producción de biomasa de la planta (Sanz *et al.*, 2001; Retamales, 2005).

Una de las funciones más estudiadas del Ca en la planta es la señalización y su trabajo como mensajero secundario; esta función se da principalmente a través de la proteína Calmodulina que regula la actividad de varias enzimas especialmente las quinasas (Retamales, 2005). Estas señales se dan por estímulos en la planta que activan canales en las membranas incrementando el Ca citoplasmático y generando una cascada de respuestas (Jammes *et al.*, 2011). En la membrana celular hay diferentes canales de Ca entre los que se encuentran los que se activan por hiperpolarización que permiten la entrada de Ca a la raíz generando la división y elongación de sus células, los activadores de la depolarización encargados de activar los demás canales cuando reciben el estímulo, los canales mecano- sensitivos que regulan la turgencia de las células determinando la expansión celular y la morfogénesis, los canales de cationes incentivados por voltaje (VIC) que mantienen constante la concentración de Ca en el citosol mediante cargas de voltaje y los canales de cationes rectificadores de salidas (KORK) los cuales controlan la salida de Ca^{+2} mediante propiedades de autorregulación (Jammes *et al.*, 2011; Diaz *et al.*, 2007).

Dado que el calcio es un elemento que es absorbido por la planta de manera pasiva a través del flujo de masas y transportado por la corriente transpiratoria, es muy importante para su absorción un adecuado proceso transpiratorio de la planta, el cual está estrechamente relacionado con factores climáticos como radiación, temperatura y humedad relativa (Malavolta, 2006; Prado, 2008; Carrillo-Hernández *et al.*, 2014).

La mayoría de los estudios realizados sobre la relación de los factores climáticos y la absorción de calcio se han centrado en la relación de la humedad relativa y la absorción de este nutriente, entre ellos se encuentran el de Adams (1991), quien evaluó el efecto de la fluctuación diurna de la humedad en la acumulación de nutrientes en hojas de tomate y encontró que el contenido de Ca en hojas tiene una correlación negativa con la humedad relativa ya que cuando la humedad relativa es alta el contenido de Ca disminuye y cuando la humedad relativa es baja el contenido de Ca en hojas aumenta, sin embargo, en esta investigación también se observó que con humedad relativa baja el contenido de Ca en el fruto disminuye.

Otros estudios que relacionaron la absorción de Ca y la humedad relativa fueron el de Cline y Hanson (1992), quienes evaluaron la influencia de la Humedad relativa en la acumulación de calcio en manzana. El estudio de Nelson *et al.* (2003), quienes evaluaron el efecto de la humedad relativa y varios niveles de calcio en diferentes cultivares de tulipán sembrados en hidroponías; el de Del Amor y Marcelis (2005), quienes determinaron el efecto de la humedad del aire en la regulación de la demanda de nutrientes en un cultivo de tomate y el de Xu *et al.* (2007), quienes evaluaron el efecto de la humedad en la actividad fisiológica, el rendimiento y la calidad de tomate en invernadero. Todos ellos de manera general llegaron a la conclusión de que a mayor humedad relativa menor absorción y acumulación de Ca y a menor humedad relativa la absorción y acumulación del nutriente en la planta fue mayor.

Por su parte Torre *et al.*, (2001) evaluaron el efecto de la humedad del aire y la relación K/Ca en el suministro de nutrientes sobre el crecimiento y las características poscosecha de las rosas y encontraron que el contenido de Ca en las hojas fue significativamente menor en las plantas cultivadas con alta humedad relativa y que el contenido de Ca fue mucho menor en flores que en hojas, ya que las primeras tienen una menor tasa de transpiración que las segundas y este elemento se ve altamente influenciado por este proceso, por lo que concluyeron que para aumentar el Ca contenido en hojas y pétalos, es más efectivo mejorar la tasa de transpiración que agregar más Ca a la solución nutritiva.

En las plantas de fresa que crecen en suelos deficientes de Ca se observa hojas jóvenes arrugadas, reduciendo la superficie fotosintética; necrosis en los tallos y peciolos, fruto con un denso número de aquenio, textura dura y sabor ácido, además de que se reduce su vida de almacenamiento (Trejo-Tellez y Gomez-Merino, 2014; Acosta, 2013). De acuerdo con Hernández *et al.* (2008), y Montademi *et al.* (2013), la adición de Ca en fresa mostró efectos positivos en la densidad de la fruta y su valor nutricional.

La absorción de calcio en fresa ha sido estudiada por algunos autores en diferentes variedades, en la tabla 3 se presenta un resumen de dichos trabajos:

Tabla 3

Estudios realizados sobre la absorción de Ca en plantas de fresa en diferentes variedades y países.

VARIEDAD	PAIS	ABSORCION g. ha ⁻¹	AUTOR
Elsanta	Bélgica	56	Lieten y Misotten (1993)
Albión	México (Michoacán)	110	Aguilar (2011)
Roxana	México (Chapingo)	251	Avitia <i>et al.</i> (2014)

Muchos problemas de calidad de los cultivos como ruptura de dermis en las etapas tempranas de desarrollo, caída de flores, endurecimiento del mesocarpio, formación deficiente de azúcares o de ácidos y conversión de azúcares en lignina están relacionados con factores nutricionales o ambientales; por lo cual es de gran interés conocer cómo estos factores limitan el desarrollo y la producción de los cultivos (Carvajal *et al.*, 2012; Janeiro, 2014; Mendieta, 2011).

Con base en lo anterior se justifica la presente investigación dado que el cultivo de la fresa presenta un gran crecimiento económico y un aumento en su demanda mundial. Sin embargo, la información acerca de este cultivo especialmente para las condiciones agroclimáticas de Colombia es muy reducida. Además, dado el cambio climático que se está presentando actualmente, el uso cada vez mayor de estructuras de protección de cultivos y la búsqueda de herramientas de mitigación de la contaminación del ambiente, surge la necesidad de determinar el efecto de las variables climáticas en la absorción de nutrientes, teniendo en cuenta que una inadecuada fertilización puede generar una alta contaminación de las fuentes hídricas y del suelo y que procesos como el de la transpiración pueden reducir la absorción de nutrientes, reduciendo el transporte de asimilados del órgano fuente al vertedero, generando así problemas en la calidad de la fruta.

3. OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto los factores climáticos (temperatura, humedad relativa y radiación solar) en la acumulación de nutrientes (N, K y Ca) en plantas de fresa cv Albión.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la variación en las condiciones climáticas de campo abierto y Macro túnel.
- Determinar los niveles de acumulación de nutrientes (N, K, Ca) en fase de cosecha bajo las condiciones de estudio.
- Evaluar las diferencias en acumulación de nutrientes con las condiciones climáticas.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Ubicación

Esta investigación se llevó a cabo en el lote 1 del Centro experimental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, “Biocampus Marengo” bajo condiciones de campo abierto y Macro túnel. Este Biocampus está ubicado en el Departamento de Cundinamarca, Municipio de Mosquera a 4° 42′ latitud norte y 74° 14′ longitud oeste y 2.546, con temperatura media de 14°C, humedad relativa media del 78% y 4,2 horas diarias promedio de luz.

4.2 Material Vegetal

Este estudio se realizó con el cultivar Albión dado su potencial comercial y sus características.

La fresa Cv Albión (*Fragaria ananassa*) se caracteriza por ser un cultivar de día neutro, rústico de hojas gruesas, frutas grandes con un peso promedio de 32g por fruta, con forma cónica y alargada y color rojo intenso (Shaw y Larson, 2006); gusta mucho a los agricultores por tener una fácil y constante recolección durante la cosecha, abundante producción (1,5 a 2 kg por planta en el ciclo de 15 meses) y buena vida de anaquel, además de sus características de calidad, agradable sabor y buena firmeza, tolerancia a *Colletotrichum*, *Verticillium* y *Phytophthora* (Cámara de comercio, 2015; Santoyo y Martínez, 2010; Angulo, 2009).

Las plantas fueron sembradas en camas de plástico negro, calibre 8, elevadas 0,6 m del suelo, con 36 m de largo, 0,40 cm de ancho y separados 0,5 m entre sí; estas camas fueron llenadas al 100% de su capacidad con un sustrato compuesto por 50% escoria de carbón, 25% de fibra de coco y 25% de cascarilla de arroz, relación en volumen.

El cultivo se realizó bajo dos estructuras de Macro túneles iguales, una cubierta con plástico AgrocLEAR y la otra sin cobertura, estas estructuras contaban con 3 naves de 2,20 m de alto 8 m de ancho y 40m de largo. El plástico AgrocLEAR se caracteriza por tener una lámina coextruida entre tres y cinco capas, estabilizada con Hals y antioxidantes, contiene inhibidores de UV que le confieren resistencia a la degradación por efectos de la Radiación solar, capacidad de difusión de luz elevada (difusión de luz total 55% +/-5 (norma ASTM D

IOO3)), eliminación de sombra dentro del invernadero permitiendo repartir la luz más homogéneamente para la planta generando así mayor rendimiento, además presenta las siguientes especificaciones: Termicidad del 5+/-10% (norma CPT-I-3), transmisión de luz total 85+/-5% (norma ASTM D IOO3), difusión de luz total 55+/-5% (norma ASTM D IOO3), bloque UV 290 nm-340nm 2% (norma CPT-2-6), transmisión de luz UV a 340 nm 1,5% (norma CPT-2-6), resistencia al impacto 300 g.min⁻¹ (norma ASTM D 1709) (PQA, 2011).

4.3 Manejo del cultivo

El manejo del cultivo estuvo a cargo del grupo de investigación: Gestión en Tecnología e Innovación en Biosistemas de la Universidad Nacional de Colombia (GTI).

En el cultivo se realizaron las labores normales de control de malezas de forma manual, control de plagas especialmente babosas, trips y ácaros, control de enfermedades como Moho Gris (*Botrytis cinérea*), Mildeo polvoso (*Oidium sp*) y Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y manejo automático de riego con un controlador (Hunter X-core).

Al momento de realizar esta investigación de acuerdo con la escala BBCH para fresa el cultivo se encontraba entre el estado principal de maduración del fruto y comienzo de la senescencia.

En la tabla 4 se presenta el aporte de elementos minerales en ppm del fertirriego aplicado a las plantas de cultivo, en el tiempo en el que se desarrolló esta investigación.

Tabla 4

Aporte de elementos minerales (ppm) en el fertirriego durante el desarrollo de la investigación

ELEMENTO	APORTE (ppm)
N	361
P	305
K	440
Ca	390
Mg	66
S	48
B	4,5

Fuente elaboración y formulación propia

4.4 Tratamientos

Esta investigación se realizó bloqueando los datos por ambientes (campo abierto y macro

túnel) de tal manera que las variables climáticas, de nutrición y de calidad de la fruta se tomaron en cada uno de los ambientes.

Se utilizaron como unidad experimental 3 camas elevadas con 780 plantas de fresa cv Albión sembradas a campo abierto y el mismo número de camas elevadas y plantas sembradas en Macro túnel.

4.5 Medición de variables

Desde el 01 de septiembre de 2017 hasta el 30 de noviembre de 2017, se realizaron mediciones de las variables climáticas (temperatura, humedad relativa y radiación PAR), de los elementos minerales (absorción en frutas y hojas de N, K y Ca) y de las variables de calidad de fruto (peso fresco, firmeza, color, sólidos solubles y acidez titulable).

4.5.1 Variables climáticas

Hora a hora, desde las 00:00 del 01 de septiembre hasta las 23:00 horas del 30 de noviembre, se tomaron en campo abierto y macro túnel, datos climáticos de temperatura y humedad relativa con un Datalogger Extech Instruments, Modelo RHT 10 y de Radiación fotosintéticamente activa (PAR) con un piranómetro (PAR Photon Flux), cuyos datos fueron almacenados en un Datalogger Decagon Devices (modelo Em50); teniendo en cuenta la salida y puesta del sol el sensor de Radiación solo arroja datos del periodo comprendido entre las 6:00 y las 19:00 horas.

Los valores obtenidos de radiación PAR, temperatura y humedad relativa en cada ambiente fueron analizados con una prueba de correlación de Pearson y un análisis de varianza (ANOVA), además se generaron las gráficas del comportamiento de cada variable diariamente y durante el periodo de estudio, todo mediante el programa R-studio.

De igual forma los datos climáticos fueron analizados para determinar el comportamiento de las condiciones climáticas, mediante una descripción de las series de tiempo y una descomposición aditiva de las mismas.

4.5.2 Elementos Minerales

Las muestras foliares para la determinación de los contenidos nutricionales se tomaron cada 15 días, durante el periodo comprendido entre el 6 de septiembre y el 29 de noviembre de

2017, muestras el 06 y 20 de septiembre, 04 y 18 de octubre y 01, 15 y 29 de noviembre; este periodo corresponde al periodo de senescencia de la planta de acuerdo con Ferrucho y Ruiz (2014) y Piedrahita y Flórez (2012), quienes afirman que este cultivo presenta una duración de 15 meses desde la siembra hasta la senescencia. En estas fechas se recolectaron de acuerdo con la metodología para la toma de muestras foliares de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2007) y con base en las recomendaciones para análisis de tejido vegetal del laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional de Colombia, para cada ambiente (campo abierto y macro túnel), 60 hojas nuevas completamente abiertas sin peciolo distribuidas al azar, correspondientes aproximadamente a 200g de peso fresco y también se recolectaron 500 g de fruta en punto de cosecha de cada ambiente.

Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de química de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, allí se tomaron los pesos frescos de las hojas y los frutos (g) en una balanza digital (Fenix Lexus Electronic Scales, de exactitud 0,01g y rango de 2000g), fueron secados a 60°C en un horno de flujo de aire de convección natural de 100 L (On- 11E de Lab companion), posteriormente se molieron y se realizó el análisis de contenido de N, K y Ca en el tejido vegetal.

El N total se determinó por el método estándar micro-Kjeldahl con valoración volumétrica (McKean, 1993). Mientras que el contenido total de K y Ca se determinó a partir de la calcinación de la muestra a 475°C y la espectrofotometría de absorción atómica (McKean, 1993).

Los valores obtenidos para el contenido de N, K y Ca tanto en hojas como frutos en cada ambiente fueron analizados con una prueba de correlación de Pearson y un análisis de varianza (ANOVA), además se generaron las gráficas comparativas de los contenidos de elementos minerales en cada órgano (hojas y frutos), todo mediante el programa R-studio.

4.5.3 Variables de calidad de fruta

En el laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, los mismos días de la toma de muestras nutricionales, se tomó una muestra homogénea de 10 frutos de cada ambiente y se determinaron los siguientes parámetros:

- **Peso fresco de los frutos:** En una balanza digital (Fenix Lexus Electronic Scales), se

tomó el peso fresco de cada uno de los 10 frutos de cada ambiente, dando el resultado en (g).

- **Índice de color:** Mediante un medidor de colorimetría Minolta CR-400 (Minolta Camera Company, Osaka, Japón) con iluminante C y observador estándar, se determinaron los parámetros CIE L *, a *, b *, en tres puntos de cada uno de los 10 frutos de cada ambiente, y se sacó un valor promedio de las tres mediciones por fruto con el cual se trabajó.
- **Firmeza de la fruta:** Se determinó con un texturometro LLOYD instruments (Ametek serie L2), mediante una prueba de punción de 10 frutos de cada ambiente, con una aguja LLOYD instruments (Serie 1KN) de 1 pulgada colocada a una distancia de 2cm del fruto y una velocidad constante de 1 mm s⁻¹, los resultados se expresaron como la fuerza máxima en Newton (N) requerida para romper la fruta.

Con la ayuda de un colador, se macero y se extrajo el jugo de cada uno de los 10 frutos, con base en este jugo se determinaron los parámetros de contenido de sólidos solubles totales y la acidez total titulable.

- **Sólidos solubles totales:** De acuerdo con la guía de ISO 2173 (1983), En un refractómetro digital (HI96801 Hanna Instruments), con un rango de medición de azúcar 0-85% y una precisión de $\pm 0.2\%$, se colocó una gota del jugo extraído y se obtuvo el resultado. Tomándose muestras al azar se realizaron 5 repeticiones para este valor.
- **Acidez titulable:** De acuerdo con la guía de NMX-FF-011 (1982), se colocaron 2 ml del jugo extraído y 20 ml de agua destilada en un vaso de precipitado, esta solución se puso en agitación y se tituló usando hidróxido de sodio 0,1N (NaOH), el resultado se expresa en g de ácido cítrico / 100 ml de ácido de jugo. Se realizaron 5 repeticiones para este valor, tomando las mismas muestras utilizadas para la determinación de sólidos solubles totales.

Con los valores obtenidos de peso, color, sólidos solubles totales, acidez total titulable y firmeza se realizó correlación de Pearson y análisis de varianza (ANOVA), mediante el programa R-studio,

4.6 Herramientas estadísticas

Las herramientas estadísticas utilizadas corresponden al coeficiente de correlación de Pearson (ρ), análisis de varianza (ANOVA), aplicados para cada una de las variables medidas en conjunto (total) según cada tratamiento experimental.

4.7 Modelación

Se realizó una modelación de los datos utilizando el programa “Vensim profesional 5.11a” Universidad Nacional de Colombia, 2018; el cual presenta una escritura basada en objetos y las interrelaciones de estos, permitiendo observar en los diagramas de manera sencilla, los procesos que se desean evaluar (Dormido y Morilla, 2013). Este tipo de diagrama se utiliza dentro de la dinámica de sistemas y se le conoce como diagrama de Forrester, que plantea la representación de la relación causa y efecto, en el que se puede determinar la materia o energía presente en el sistema y el movimiento de esta entre sistemas y dentro del sistema (García, 2019).

El modelo fue representado mediante la relación de los factores ambientales con los nutrientes N, K y Ca y su compartimiento en las hojas y los frutos, que se relacionan mediante las tasas de entradas (K_i). Adicionalmente basados en los resultados de este modelo y de las variables simuladas, se determinaron los valores para simular los parámetros característicos de calidad en fruto, como el índice de color, acidez titulable, sólidos solubles, peso del fruto y firmeza, con el fin de relacionar estas con las variables del contenido nutricional (Figura 2).

Las variables medidas, temperatura, humedad relativa, radiación PAR, contenido de N, K y Ca en hojas y frutos, peso fresco del fruto, sólidos solubles totales, acidez total titulable, firmeza y color; se introdujeron como valores para realizar la simulación y calibración del modelo según el ambiente.

Se realizó la evaluación mediante estadísticos de la bondad del ajuste de la simulación de manera univariante determinando el porcentaje de la raíz cuadrática media, el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NS), el coeficiente de correlación de Pearson (ρ), el coeficiente de desigualdad de Theil (U). También se realizó un análisis mediante la distancia de Mahalanobis basado en la a distancia de distribución de Fisher y la distancia euclidiana. Todos los estadísticos fueron determinados mediante el paquete DimBIO para R-studio.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Modelo de Vensim propuesto

Existen varios modelos que relacionan los efectos del clima con el crecimiento, rendimiento y producción de los cultivos, tales como el modelo STICS, modelo CRPOSYST, modelo DSSAT entre otros (López y Hernández, 2016). Sin embargo, ninguno presenta la relación de las variables climáticas y los contenidos de elementos minerales entre sí, ni la interacción de estos.

Las figuras 1 y 2 presentan los flujos que corresponden a la ecuación lineal entre la tasa de velocidad del proceso, los elementos que se relacionan con los evaluados y un factor de regulación por los procesos ambientales, el valor está entre 0 y 1.

El comportamiento se genera como una integral en el tiempo de los flujos de entrada y salida de este.

$$\text{Entrada N} = CaH * KH * F \text{ ambiental} * Ken$$

Siendo la función ambiental:

$$F \text{ ambiental} = f \text{ temp} * f \text{ PAR} * f \text{ HR}$$

Para la función de regulación por efecto de la temperatura se utilizó la ecuación:

$$f \text{ temp} = Q_{10}^{0,1(\text{temp}-Tb)}$$

En donde el valor de Q_{10} se tomó como 2,2 y la temperatura base (Tb) de 16 °C

Para la función regulación por efecto de la humedad se utilizó la ecuación:

$$f \text{ HR} = -0.0003Hum^2 + (0.0372 * Hum) - 0.2444$$

Para la función regulación por efecto de la radiación se utilizó la ecuación:

$$f \text{ PAR} = PAR * ef$$

En donde ef es la eficiencia de absorción la cual es obtenida mediante la calibración del modelo.

Por último, la integral del compartimiento es:

$$NH = \int \text{Entrada N} - \text{Transf N} - \text{Transp N}$$

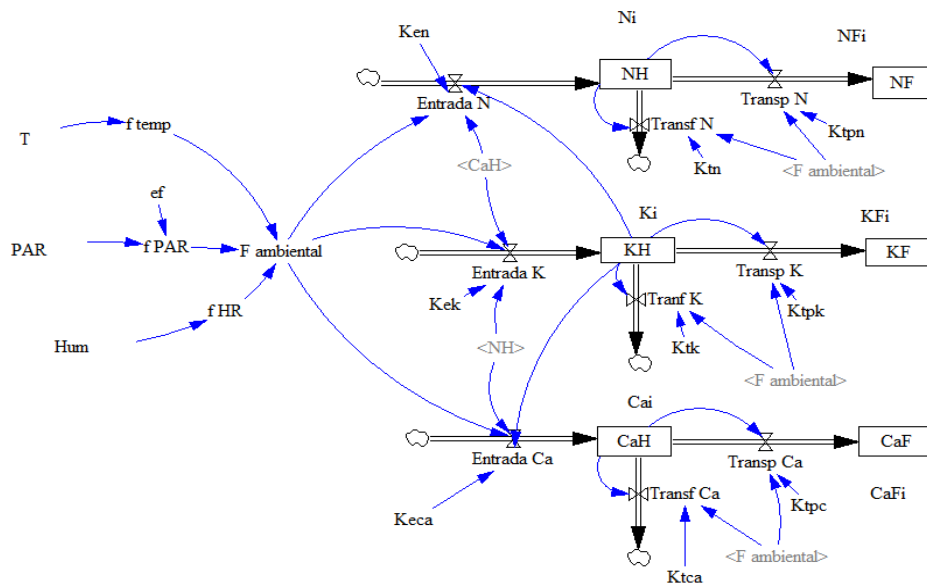


Figura 1. Modelo del comportamiento de los nutrientes N, K y Ca en hojas y frutos de plantas de fresa evaluadas. Fuente elaboración y formulación propia.

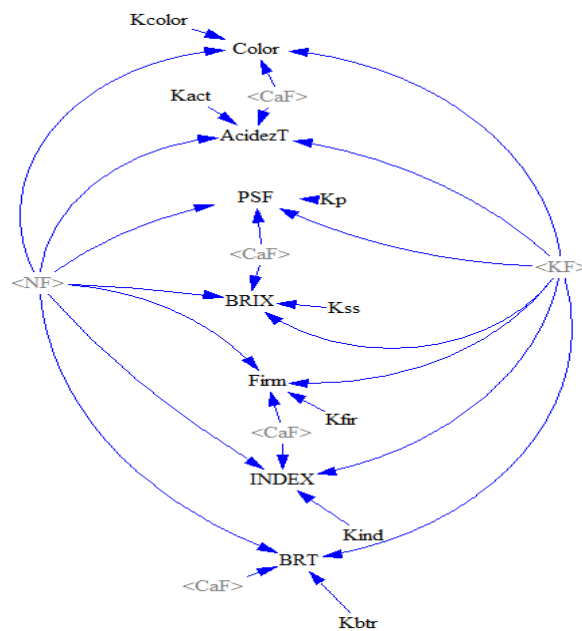


Figura 2. Modelo de simulación de las características del fruto en base al contenido nutricional. Fuente elaboración y formulación propia.

El proceso de calibración, busca obtener los parámetros, más adecuados y lógicos, que permitan al modelo representar de manera más aceptable los valores experimentales, para

resolver la ecuación diferencial ordinaria (EDO) de la variable compartimiento, que en general es una solución numérica de ecuaciones que no pueden ser resueltas de manera analítica, para esto se utilizó el método de integración, que el programa proporciona (Runge-Kutta) mediante una búsqueda de manera aleatorizada del conjunto de parámetros (ki) más adecuado para simular de manera aceptable los datos experimentales.

Se realizó la evaluación mediante estadísticos de la bondad del ajuste de la simulación de manera univariante determinando el porcentaje de la raíz cuadrática media, el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe (NS), el coeficiente de correlación de Pearson (ρ) y el coeficiente de desigualdad de Theil (U). También se realizó un análisis mediante la distancia de Mahalanobis basado en la a distancia de distribución de Fisher y la distancia euclidiana. Todos los estadísticos fueron determinados mediante el paquete DimBIO para R-studio.

Como resultado se encontró que el modelo ajusta adecuadamente los datos simulados a los experimentales de manera aceptable al obtener un valor de F de Mahalanobis igual a 0,22 siendo el de la tabla de 2,14 (α : 0,05; $g1$:8; $g2$: 47), la distancia euclidiana es de 0,37. Además, al evaluar la bondad del ajuste de la simulación se encontró el siguiente resultado:

Para el porcentaje de la raíz cuadrática del error medio el modelo ajusta bien para el nitrógeno en hojas, el potasio en hojas y los sólidos solubles totales con valores de 8,96%; 7,51 y 9,38% respectivamente.

Para el índice de eficiencia de Nash y Sutcliffe el modelo ajusta bien para el nitrógeno en hojas, potasio en hojas y frutos y solidos solubles con valores de 0,09; 0,03; 0,01 y 0,02 respectivamente.

Para el coeficiente de desigualdad de Theil ajusta bien para el nitrógeno en hojas y frutos, potasio en hojas y frutos, el calcio para hojas, los sólidos solubles totales, el índice de color, la firmeza y el peso con valores de 0,04; 0,08; 0,03; 0,06; 0,09; 0,09; 0,07; 0,08; 0,08 respectivamente.

Se presentó correlación del nitrógeno en hojas, potasio en hojas y frutos, calcio en frutos y solidos solubles totales entre los datos simulados y los experimentales con valores de 0,75; 0,73; 0,70; 0,71 y 0,72 respectivamente.

Las ecuaciones del modelo, la tabla de evaluación de la bondad del ajuste de la simulación

y la representación gráfica del ajuste entre los datos simulados y obtenidos pueden verse en el ANEXO A.

El modelo de Vensim, sirvió como herramienta y apoyo estadístico en la construcción de los resultados de esta tesis, ya que se observa que al incluir como entradas las variables climáticas, los nutrientes y la relación entre estos últimos, los datos simulados y los reales ajustan adecuadamente, es decir que todos estos componentes están relacionados entre sí para generar una salida en común, la cual a su vez de acuerdo con el modelo propuesto presentan relación con variables de calidad del fruto.

5.2 Variables Climáticas

Se realizó un análisis de las descomposiciones de las series de tiempo radiación PAR, temperatura y humedad relativa para campo abierto y macro túnel (VER ANEXO B), con el objetivo de determinar la existencia de cambios importantes en ellas.

Se tomaron datos de las tres variables climáticas hora a hora durante un periodo de tres meses, donde se muestran cuatro componentes como los mencionan Aneiros (2008), y Mauricio (2007): La representación gráfica de los datos tomados (valor observado), el crecimiento o declive a largo plazo de la variable (tendencia), las variaciones periódicas que se presentan en la serie de tiempo (estacionalidad) y las perturbaciones causadas por determinados eventos en el proceso que se está estudiando (componente aleatorio).

Como resultados se obtiene que ninguno de los tres factores medidos (radiación PAR, temperatura y humedad relativa), en ninguno de los ambientes (campo abierto y macro túnel) presenta una tendencia definida ni un patrón de estacionalidad, por lo que se puede deducir que el comportamiento de dichas variables climáticas y su posterior efecto pueden afectar variables de desarrollo del cultivo a corto y mediano plazo. Estudios de series de tiempo relacionados con estas variables climáticas no fueron encontrados. Sin embargo, análisis de las series de tiempo climáticas fueron utilizadas por Villazón-Bustillos *et al.* (2016), para el pronóstico de sequía en la región noreste del estado de Chihuahua-México encontrando patrones de tendencia y estacionalidad de sequía marcados.

5.2.1 Radiación PAR

En la Figura 3 se presenta el comportamiento de la media horaria para todo el periodo de medición, de la radiación en campo abierto y macro túnel entre las 06:00 y las 19:00 horas

observándose que el comportamiento en los dos ambientes es muy similar siendo los valores de campo abierto mayores que los de macro t6nel, esto debido a que en macro t6nel la transmisi6n de la radiaci6n incidente de acuerdo a las especificaciones del pl6stico AgrocLEAR® all6 colocado es del 85 +/- 5%, mientras que en campo abierto la radiaci6n incidente no se vio afectada por ning6n factor.

Tambi6n se encuentran tres periodos bien marcados (ma6ana, medio d6a y tarde) , en la ma6ana entre las 6:00 y las 10:00 horas se presenta un aumento r6pido de la radiaci6n presentando valores promedio de $397 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para campo abierto y $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro t6nel, en el periodo del medio d6a comprendido entre las 11:00 y las 14:00 horas se present6 un aumento de la radiaci6n con un leve descenso a las 12:00 horas y el pico m6ximo de radiaci6n PAR a las 13:00 horas con valores de $895,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para campo abierto y $700,65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro t6nel y por 6ltimo un periodo de descenso de las 15:00 a las 19:00 horas con valores promedio de $357 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para campo abierto y $274 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro t6nel.

Un comportamiento similar fue reportado por Hern6ndez *et al.* (2017) quienes, en un estudio realizado en Nuevo Le6n, M6xico encontraron el mayor pico de radiaci6n a las 13:00 horas.

Datos de los puntos cr6ticos de radiaci6n PAR no han sido reportados para el cultivo de fresa, sin embargo, algunos datos en otros cultivos como vid muestran que este presenta una reducci6n de fotos6ntesis entre 500 y $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y punto de saturaci6n cercano a los $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Zufferey *et al.*, 2000)

En la figura 3 tambi6n se observa un peque6o descenso de la radiaci6n al medio d6a, lo que puede ser explicado por nubosidad a esa hora que gener6 una reducci6n promedio de la radiaci6n durante el periodo de medici6n. Esta explicaci6n concuerda con lo mencionado por De la Cruz Romero (2017), quien afirma que la nubosidad dependiendo de su altura y espesor puede reducir entre un 20 a 65% la Radiaci6n. Datos similares fueron observados en un periodo de tiempo anterior (01 de mayo a 31 de agosto de 2017), medido con el mismo instrumento, en el mismo lugar y se observa que se presentan d6as en los que la radiaci6n se reduce en las horas del mediod6a, por lo que se podr6a decir que este es un comportamiento habitual para esta zona.

Este comportamiento aparentemente irregular, puede ser t6pico de la regi6n de estudio, ya que de acuerdo con la Corporaci6n Aut6noma Regional-CAR (2006), la zona donde se

encuentra el Biocampus Marengo es de transición de vientos y de humedad, lo que favorece posiblemente ese tipo de acumulación de nubosidad en este momento del día.

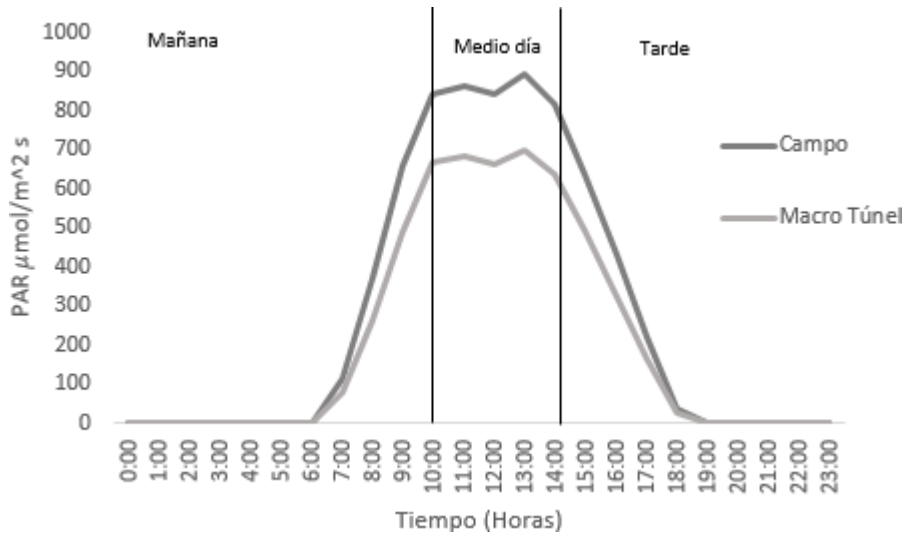


Figura 3 Comportamiento de la media horaria para un día típico de la radiación PAR en campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.

En la figura 4 se presenta el comportamiento de la radiación a lo largo del periodo de estudio; se observa que entre el 3 y el 26 de septiembre se presentó la menor radiación para todo el periodo de estudio con valores entre 88 a 273 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para campo abierto y 66 a 204 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro túnel, pasando a un periodo entre el 27 de septiembre y el 17 de noviembre donde esta se mantiene oscilando entre los 157 a 433 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para campo abierto y 115 a 320 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro túnel y posteriormente del 18 al 30 de noviembre se presenta el periodo de máxima radiación PAR con valores entre 299 a 523 para campo abierto y 241 a 464 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para macro túnel. Generando de esta manera mínimos para campo abierto entre 88 a 299 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y para macro túnel de 66 a 241 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y máximos para campo abierto entre 273 a 523 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y para macro túnel entre 204 a 464 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Teniendo en cuenta los datos presentados anteriormente se puede decir que la transmisión promedio del plástico colocado en el macro túnel corresponde al 77%, valor que se encuentra un poco por debajo del dato suministrado por su ficha técnica; sin embargo, este resultado es similar al presentado por Retamal-Salgado *et al.* (2015), quien reporta una reducción del 25% en la radiación PAR bajo cubierta para invernadero en comparación con la encontrada a campo abierto.

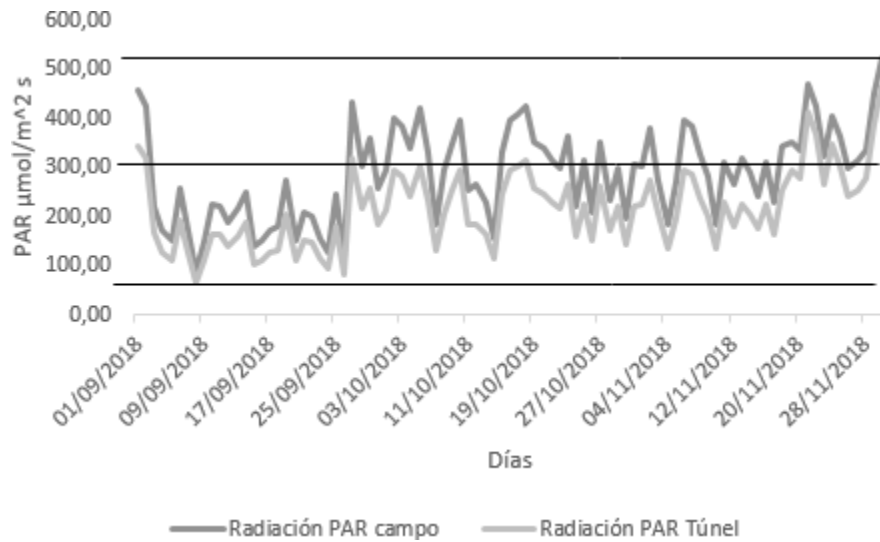


Figura 4 Comparativo de la radiación PAR diaria del periodo de estudio en campo abierto y Macro túnel.
Fuente elaboración y formulación propia

De acuerdo con los datos obtenidos en este estudio si existe una diferencia en cuanto a la radiación PAR en los dos ambientes que podría llegar a modificar a corto o mediano plazo el cultivo.

5.2.2 Temperatura

En la figura 5 se presenta el comportamiento promedio hora a hora de la temperatura en campo abierto y macro túnel. Se puede observar cómo los dos ambientes presentan comportamientos similares, aunque en macro túnel la temperatura es mayor que en campo abierto, debido al efecto de la cobertura plástica.

Esta figura se puede separar en periodos de horas comprendidas por, mañana, entre las 5:00 y 10:00 horas, medio día, entre las 11:00 y las 16:00 horas, tarde, entre las 17:00 y las 22:00 horas y noche, entre las 23:00 y 4:00 horas.

En la mañana se presenta el valor más bajo de temperatura a las 6:00 de 8,8°C para macro túnel y 8,1°C para campo abierto, con un Δ de temperatura mínima entre ambientes de 0,7°C. Al medio día, se encuentran las mayores temperaturas que a diferencia de la radiación PAR se presenta entre las 11:00 a las 13:00 horas con temperaturas entre los 22 y 22,4°C para macro túnel y entre 20,8 y 21,1°C para campo abierto, con un Δ de temperatura máxima entre ambientes de 1,3°C. En la tarde se presenta el comportamiento normal de las curvas de temperatura, en donde se observa una disminución de esta para pasar posteriormente a la noche donde se presentan los menores valores de temperatura que oscilan entre 11,2 y 9,4 °C en macro túnel y 10,4 y 8,6 °C para campo abierto.

Teniendo en cuenta los valores antes mencionados y comparándolos con los promedios referenciados por Flores (2011), para el cultivo de fresa, 6 y 22°C, se puede decir que los valores de temperatura obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos óptimos para este cultivo.

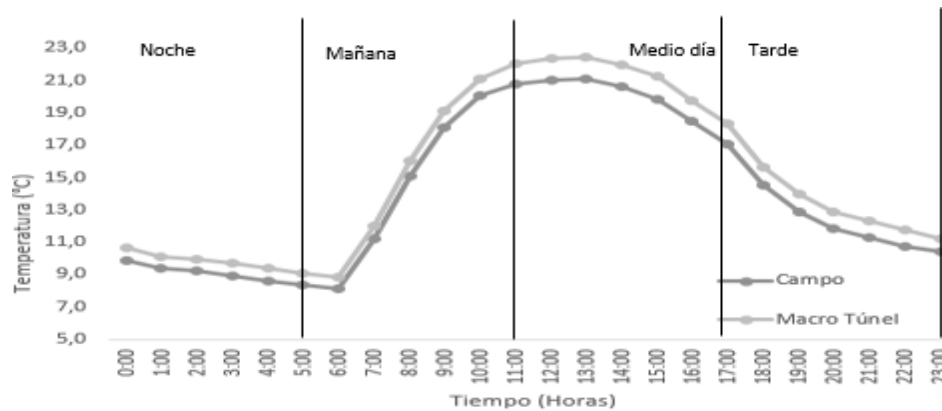


Figura 5 Comparativo de temperatura media horaria para un día típico a campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.

En la figura 6 se presenta el comportamiento de la temperatura a lo largo del periodo de estudio, donde se observa que esta se mantiene constante oscilando entre 16,3 y 17,23°C para macro túnel y entre 12,49 y 13,5°C para campo, también se presentan tres picos de baja temperatura media diaria el 26 de septiembre y el 08, 09 y 26 de octubre con valores entre 11,93 y 12,44°C para Macro túnel y entre 11,08 y 11,59°C para campo abierto.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se encuentra que existe un Δ de temperatura promedio para este periodo de estudio de 1°C, este resultado puede estar relacionado con la circulación del aire en el macro túnel debido a que este no está completamente cerrado, lo cual permite el paso de aire las 24 horas del día, además que se realiza la apertura de ventanas en las horas de la mañana y se cierran en la tarde permitiendo el intercambio constante de aire de afuera hacia adentro de la estructura.

El Δ de temperatura encontrado en este estudio no pudo ser comparado directamente con ningún otro, dado que en la literatura no se encontraron reportes acerca de este valor entre campo abierto y macro túnel o invernadero en el Biocampus Marengo ni en un lugar cercano; sin embargo, como referencia el resultado obtenido concuerda con lo reportado por Flórez-Ortega *et al.*, 2015 en México, quienes encontraron un aumento entre 1 y 1,5°C en Macro túnel con relación a campo abierto en un cultivo de fresa cv San Andreas, mientras que presenta diferencia con los resultados de Zhao *et al.*, (2014) en Estados Unidos y Singh *et al.*,

(2012) en India, quienes encontraron aumentos de temperatura en cultivos de fresa bajo Macro túnel de 2-3°C. La diferencia de los resultados está determinada por las diferencias en las condiciones climáticas del lugar donde se encontraba ubicado el cultivo y su manejo.

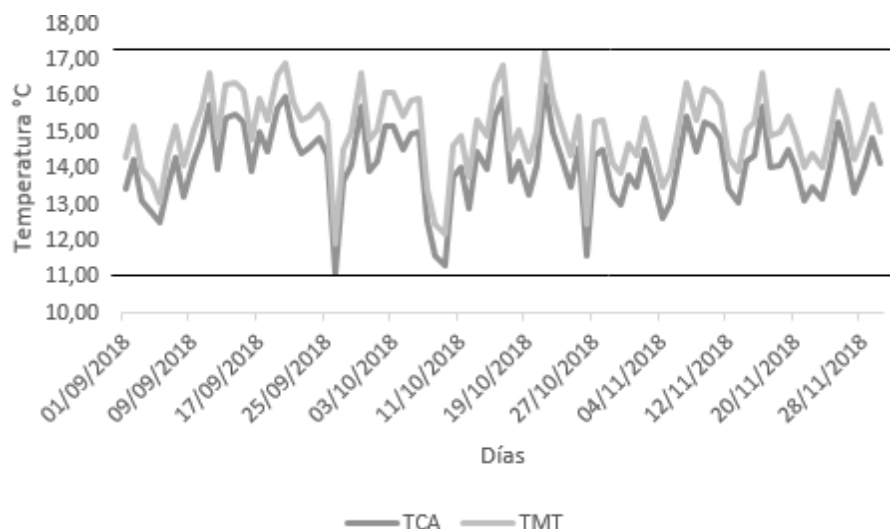


Figura 6 Comparativo de Temperatura media diaria del periodo de estudio campo abierto (TCA) y macro túnel (TMT). Fuente elaboración y formulación propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo se presentan diferencias de temperatura entre ambientes, generando un microclima diferente bajo Macro túnel que puede afectar a corto y mediano plazo al cultivo.

5.2.3 Humedad relativa

En la figura 7 se presenta el comportamiento promedio hora a hora de la humedad relativa en campo abierto y macro túnel. Se puede observar cómo los dos ambientes presentan comportamientos similares, aunque en campo abierto la humedad relativa es mayor que en macro túnel. Esta figura al igual que la de temperatura fue dividida en mañana, medio día, tarde y noche.

En la mañana se presenta la mayor humedad relativa a las 05:00 con un valor de 92,6% para campo abierto y 91,1% para macro túnel y a las 06:00 con valores de 92,8% en campo abierto y 91,3% en macro túnel, con un Δ de humedad relativa entre ambientes de 1,5% en las dos horas; mientras que al medio día se presenta la menor humedad relativa a las 11:00 con un valor de 57,6% para campo abierto y 55,8% para macro túnel, con un Δ de Humedad relativa entre ambientes de 1,8%, en la tarde se presenta un comportamiento de aumento de la humedad relativa que puede asociarse con la reducción de la radiación solar y la temperatura

y en la noche se presentan los valores más altos que oscilan entre 89,1 y 92% para campo abierto y 87,5 y 90,7% para Macro túnel con un Δ de Humedad relativa entre ambientes de 1,5% para el periodo de la noche.

Al comparar los valores de humedad relativa obtenidos en el estudio con los encontrados por Chiqui *et al.* (2010) Y los promedios referenciados por Flores (2011), para el cultivo de fresa (60 a 75%), se observa que los mínimos y los máximos se encuentran un poco por debajo y por encima respectivamente de los valores de referencia; sin embargo, para determinar si estos valores son adecuados es necesario ver el comportamiento general del periodo de estudio y determinar qué tanto tiempo se mantiene la baja o alta humedad relativa.

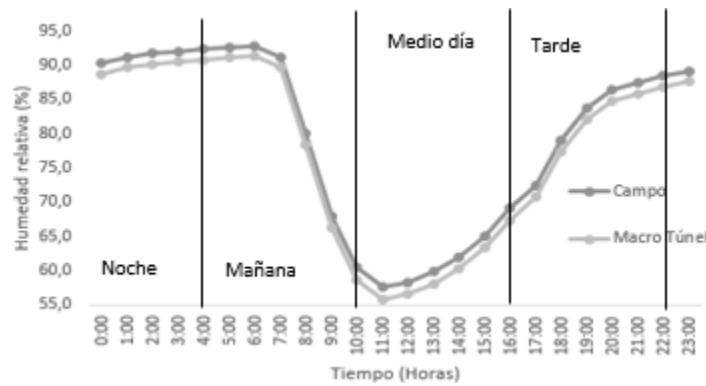


Figura 7. Comparativo de humedad relativa media horaria para un día típico a campo abierto y macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.

En la figura 8 se presenta el comportamiento de la humedad relativa a lo largo del periodo de estudio; se observa que desde el 01 de septiembre hasta el 26 de octubre se presenta un mayor número de días con humedad relativa baja que alta, este periodo tiene valores mínimos que oscilan entre 66,96% para campo abierto y 65,24% para macro túnel y valores máximos de 85,91% para campo abierto y 84,28% para macro túnel, mientras que a partir del 27 de octubre hasta el 30 de noviembre la mayoría de los datos corresponden a humedades relativas altas con valores mínimos de 75,77% en campo abierto y 74,09% en macro túnel y valores máximos de 89,70% en campo abierto y 88,09% en macro túnel. Los dos periodos de tiempo presentan un Δ de HR entre ambientes de 1,7% para los valores mínimos y 1,6% para los valores máximos, lo que representa que el valor promedio del Δ de HR es 1,65%, este resultado puede estar relacionado con las características de la zona donde se encuentra localizado el Biocampus Marengo ya que, según la Corporación Autónoma Regional (2006), esta es una zona de Transición de vientos y de humedad.

El Δ de HR promedio obtenido en este trabajo, no concuerda con lo mencionado por Zhao *et*

al. (2014) en Estados Unidos y Singh *et al.* (2012) en India, quienes encontraron un aumento de la humedad relativa en un cultivo de fresa bajo Macro túnel entre el 2 y el 6%. La diferencia de los resultados está determinada por las diferencias en las condiciones climáticas del lugar donde se encontraba ubicado el cultivo y su manejo.

Los valores de humedad relativa encontrados en este trabajo se encuentran entre 65,24% y 89,70%, los cuales no concuerdan con los valores encontrados por Chiqui *et al.* (2010), ni con los promedios de Humedad relativa referenciados por Flores (2011), para el cultivo de fresa, quienes reportan valores entre 60 y 70%; sin embargo, de acuerdo con Botelho y Freire (2002), y Deaquiz (2014), estos valores se pueden considerar adecuados teniendo en cuenta que cuando la humedad relativa está por debajo del 60% puede aumentar la tasa de transpiración, y por encima del 90% puede reducir la absorción de nutrientes debido a la disminución de la transpiración, por lo que se concluye de acuerdo con lo anterior que los datos obtenidos en el presente estudio se encuentran en un rango óptimo.

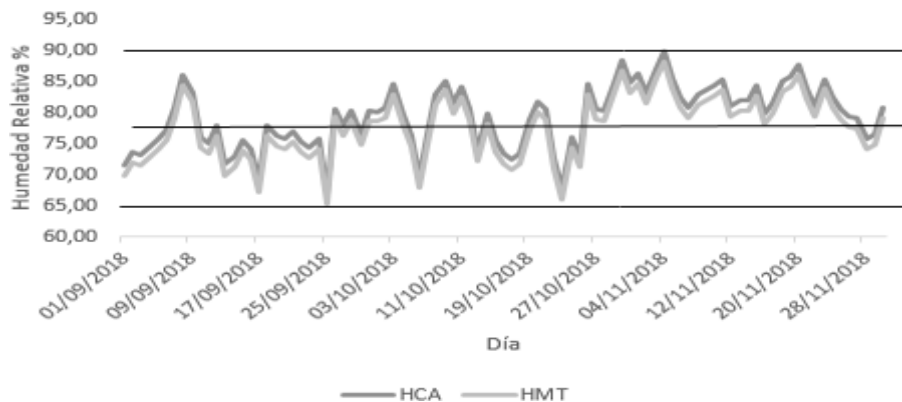


Figura 8. Comparativo de Humedad relativa media diaria del periodo de estudio campo abierto y Macro túnel. Fuente elaboración y formulación propia.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los resultados previamente vistos se puede decir que en el caso de este estudio el macro túnel genera unas condiciones de microclima diferentes que podrían modificar a corto y mediano plazo al cultivo.

5.2.4 Correlaciones entre las variables climáticas

Se correlacionaron las variables climáticas radiación PAR, temperatura y humedad relativa (ver ANEXO C).

En este estudio se encontró que en los dos ambientes existe una correlación negativa de -0,87

entre la temperatura y la humedad relativa, es decir que a mayor temperatura menor humedad relativa y viceversa, este resultado concuerda con lo mencionado por Whitman y Johnson, (2000); Zúñiga y Crespo del Arco, (2010) y Martines, (2007) quienes encontraron que se presenta una relación directa y negativa entre la humedad relativa y la temperatura ya que la humedad relativa es la relación entre la presión ejercida por el vapor de agua del aire y la máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede incorporar a una temperatura determinada.

También se encontró en los dos ambientes una correlación positiva de 0,78 entre la radiación y la temperatura, resultado que concuerda con Ferrero (2010), Forero *et al.* (2008), Bravo *et al.* (2010), Bruckman y Ramos (2009), quienes encontraron que la radiación tiene una estrecha relación positiva con la temperatura del aire en la cual una disminución de la radiación solar puede reducir también la temperatura. El resultado encontrado puede ser explicado dado que de toda la radiación que tiene capacidad fotosintética (radiación PAR) cerca del 95% se transforma en calor y es el balance entre la energía de la radiación junto con la emitida por la tierra la que determina la temperatura de la superficie terrestre (Jarma *et al.*, 2005; Zúñiga y Crespo, 2010).

Además, se encontró una correlación negativa de -0,77 entre la humedad relativa y la radiación PAR. Dado que no se encontró información acerca de la correlación de la radiación y la humedad relativa y teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente para otros resultados en donde se observa la relación directa y la correlación positiva de la radiación solar y la temperatura y conociendo también la correlación negativa entre la temperatura y la humedad relativa, se puede inferir que la radiación solar va a tener igual que la temperatura una correlación negativa con la humedad relativa.

Lo anterior demuestra que todas las variables climáticas están correlacionadas y que lo que pase con una puede afectar a las demás, por lo que es importante estudiarlas en conjunto y ver el efecto que tiene una en otra.

5.3 Acumulación de nutrientes

5.3.1 Comparación de los contenidos nutricionales entre ambientes estudiados

En la figura 9 se presenta el contenido de N, K y Ca en hojas de fresa en los dos ambientes. Se observa tanto para N como para K una mayor acumulación en macro túnel que en campo

abierto y para el Ca en promedio tambi3n se presenta una mayor acumulaci3n en macro t3nel que en campo; sin embargo, al verlo detalladamente se encuentra que en cuanto al contenido de Ca no se presenta un comportamiento constante ya que en algunos muestreos es mayor la acumulaci3n en las hojas de campo abierto y para otros muestreos en las de macro t3nel.

Este resultado concuerda con lo encontrado por Demirsoy *et al.* (2010), quienes trabajando con fresa cultivar Sweet Charlie determinaron la variaci3n estacional del contenido de N, P, K y Ca bajo tres ambientes diferentes (Campo abierto, sombra constante e invernadero) y encontraron que las plantas cultivadas en campo abierto presentan una menor concentraci3n de nutrientes que las cultivadas bajo sombra constante o en invernadero.

El resultado obtenido del contenido de Ca en las hojas puede estar relacionado con el hecho de que las mediciones de este par3metro no se realizan siempre en la misma planta, por lo que esto puede estar asociado con caracter3sticas morfol3gicas de la planta muestreada como el n3mero de hojas, lo que puede generar una reducci3n en el contenido de Ca en hojas j3venes que son las que se muestrean.

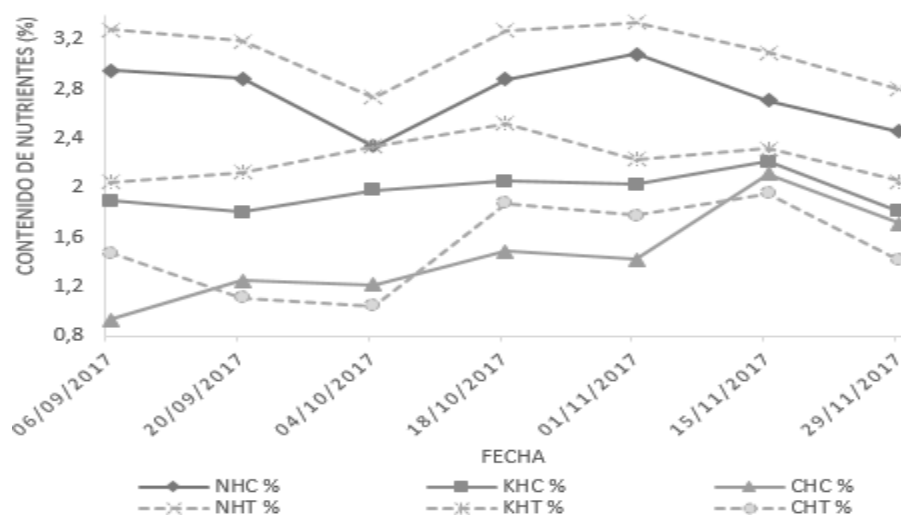


Figura 9. Comparaci3n del contenido de N, K y Ca en hojas en los dos ambientes (NHC: Nitr3geno en hojas campo abierto, NHT: Nitr3geno en hojas macro t3nel, KHC: Potasio en hojas campo abierto, KHT: Potasio en hojas macro t3nel, CHC: Calcio en hojas campo abierto, CHT: Calcio en hojas macro t3nel). Fuente elaboraci3n propia.

En las tablas 5, 6 y 7 se presenta la comparaci3n del valor relativo de contenido de N, K y Ca en hojas respectivamente presentado por varios autores en diferentes variedades y los resultados obtenidos en este estudio, en estas tablas sobresale el reporte de Bolda *et al.* (2012) ya que este es el valor de suficiencia para fresa dado por el Sistema de Diagn3stico y

Recomendación Integrado (DRIS), quienes realizaron esta determinación en fresa cv Albión. En estas tablas también se presentan los valores de suficiencia en época de pre cosecha y de cosecha; sin embargo, teniendo en cuenta que el cultivo se encontraba en época de producción, como principal referencia para los valores obtenidos se utilizó el valor de cosecha.

De acuerdo con las tablas 5, 6 y 7 los valores de contenido de N, K y Ca en hojas obtenido en este estudio se encuentran dentro del rango de suficiencia dado por el DRIS y referenciado por Bolda *et al.* (2012)

Tabla 5

Comparación del valor relativo de contenido de N en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio.

Contenido %	Variedad	Referencia bibliográfica
3,00 a 4,15	Sweet Charlie	Guilin <i>et al.</i> (1999)
2,65 a 4,30	Tudla	Almaliotis <i>et al.</i> (2002)
2,90 a 4,00	Camarosa	Ersoy y Demirsoy, (2006)
3,10 a 3,80	Albión (pre-cosecha)	Bolda <i>et al.</i> (2012)
2,40 a 3,50	Albión (cosecha)	
2,15 a 3,16	Albión (campo abierto)	Resultados del estudio
2,65 a 3,31	Albión (macro túnel)	

Fuente elaboración y formulación propia.

Tabla 6

Comparación del valor relativo de contenido de K en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio.

Contenido %	Variedad	Referencia bibliográfica
1,65 a 2,35	Sweet Charlie	Stanisavljevic <i>et al.</i> (1997)
1,20 a 2,50	Tudla	Almaliotis <i>et al.</i> (2002)
1,50 a 2,30	Camarosa	Ersoy y Demirsoy, (2006)
1,80 a 2,20	Albión (pre-cosecha)	Bolda <i>et al.</i> (2012)
1,10 a 2,65	Albión (cosecha)	
1,68 a 2,26	Albión (campo abierto)	Resultados del estudio
1,90 a 2,62	Albión (macro túnel)	

Fuente elaboración y formulación propia.

Tabla 7

Comparación del valor relativo de contenido de Ca en hojas presentado por varios autores en diferentes variedades y el resultado obtenido en este estudio.

Contenido %	Variedad	Referencia bibliográfica
0,50 a 1,50	Chandler	Cline, (1991)
0,22 a 1,50	Tudla	Almaliotis <i>et al.</i> (2002)
0,33 a 1,74	Camarosa	Ersoy y Demirsoy, (2006)
0,60 a 1,30	Albión (pre-cosecha)	Bolda <i>et al.</i> (2012)
1,00 a 2,20	Albión (cosecha)	
0,93 a 2,12	Albión (campo abierto)	Resultados del estudio
1,04 a 2,00	Albión (macro túnel)	

En la figura 10 se presenta el contenido de N, K y Ca en frutos maduros de fresa en los dos ambientes. Se observa para N, K y Ca una mayor acumulación en macro túnel que a campo abierto en casi todos los muestreos.

En esta figura también se observa que los valores de N para frutos se encuentran entre 0,8 y 1,51% para campo abierto y entre 1 y 1,72% para macro túnel, para K entre 1,37 y 2,25% para campo abierto y entre 1,42 y 2,49% para macro túnel y para Ca entre 0,2 y 0,48% para campo abierto y entre 0,24 y 0,75% para macro túnel, sin embargo, dado que no se tiene información acerca de los rangos de suficiencia nutricional en frutos de fresa, no se pudo realizar una comparación de los valores obtenidos en esta investigación para N, K y Ca con respecto a valores de referencia.

Al igual que en hojas en frutos se presenta una mayor acumulación de N, K y Ca en macro túnel que en campo abierto lo que concuerda con lo reportado por Demirsoy *et al.* (2010) quienes encontraron en un cultivo de fresa cv Sweet Charlie que hubo una menor absorción de nutrientes en campo abierto que bajo invernadero

EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE LA ACUMULACION DE
NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv
Albi3n).

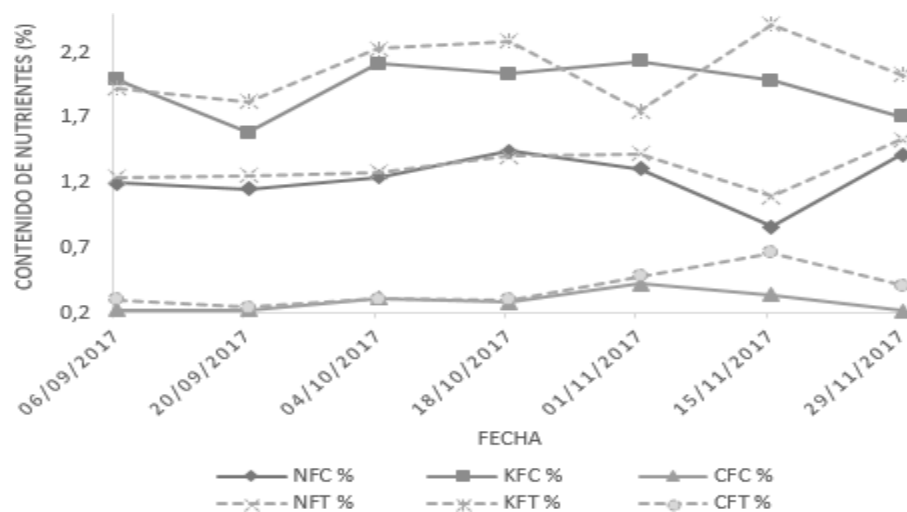


Figura 10. Comparaci3n del contenido de N, K y Ca en frutos en los dos ambientes (NFC: Nitr3geno en frutos campo abierto, NFT: Nitr3geno en frutos macro t3nel, KFC: Potasio en frutos campo abierto, KFT: Potasio en frutos macro t3nel, CFC: Calcio en frutos campo abierto, CFT: Calcio en frutos macro t3nel). Fuente elaboraci3n y formulaci3n propia.

En la tabla 8 se presenta la relaci3n de absorci3n de nutrientes en diferentes cultivares, de estos resultados sobresalen los que se obtuvieron en la variedad Albi3n como el de Aguilar, (2011) quien reporta una relaci3n de nutrientes para la planta de fresa de $K > N > Ca$ y el de Castro, (2017) quien obtuvo la misma relaci3n de absorci3n de nutrientes que la de esta investigaci3n donde para hojas la relaci3n fue $N > K > Ca$ mientras que para frutos la relaci3n fue $K > N > Ca$.

Tabla 8

Relaci3n de absorci3n de nutrientes en diferentes variedades

Variedad	Absorci3n de nutrientes	Ubicaci3n	Referencia bibliogr3fica
Idea	$K > N > Ca$	Italia	Tagliavini <i>et al.</i> , 2004
Marmolada	$K > N > Ca$	Italia	
Elsanta	$K > N > Ca$	Francia	Raynal-Lacroix <i>et al.</i> , 1999
Gariguette	$K > N > Ca$	Francia	
Korona	$N > K > Ca$	Noruega	Netsby <i>et al.</i> , 2005
Elsanta	$K > N > Ca$	B3lgica	Lieten y Misotten, 1993
Albi3n	$K > N > Ca$	M3xico	Aguilar, 2011
Roxana	$Ca > K > N$	M3xico	Avitia <i>et al.</i> , 2014
Albi3n	$N > K > Ca$ (Hoja)	Costa Rica	Castro, 2017
Albi3n	$K > N > Ca$ (Frutos)	Colombia	Resultados del estudio
Elsanta	$K > N > Ca$ (Frutos)	Australia	Martinsson <i>et al.</i> , 2010
Albi3n	$N > K > Ca$ (Hoja)	Colombia	Resultados del estudio
	$K > N > Ca$ (Frutos)		

Fuente elaboraci3n y formulaci3n propia

Lieten y Misotten (1993), afirman que la absorci3n de N en plantas de fresa aumenta en la 3poca de crecimiento vegetativo y se reduce en las etapas de maduraci3n de la fruta y en la

cosecha; sin embargo, en esta investigación y en la realizada por Castro (2017) para el mismo cultivar la absorción de N fue alta en etapas de fructificación y cosecha. Esto también se ha presentado en otros cultivos como en el de sandía Mickey Lee, donde Vega y Salas (2012), encontraron que el cultivo absorbió más N durante la floración y la fructificación. Estos resultados indican que nutrientes como el N son exigidos en altas dosis tanto en la fase vegetativa como en la de fructificación, principalmente en cultivos de alta producción de frutos como la fresa (Castro, 2017).

En esta investigación igual que en la de Castro (2017), se obtuvo que el K fue el segundo nutriente más absorbido por los frutos y el primero por las hojas, esto concuerda con lo mencionado por Martinsson *et al.* (2010), quienes encontraron que para el cultivar Elsanta se presentó una amplia disminución del contenido de K en la hoja durante el periodo de fructificación y un aumento en el contenido de este elemento en el fruto.

Estos resultados indican que el K es un elemento altamente requerido por el cultivo de fresa, ya que su acumulación en frutos y su demanda en la época de fructificación responde al papel que desempeña este nutriente en la regulación del transporte de asimilados desde los frutos hacia los frutos, lo que permite que la fotosíntesis no se vea afectada por la acumulación de azúcares y otros productos en la hoja (Castro, 2017).

El Ca fue el tercer nutriente absorbido por las plantas, resultado semejante al de Castro (2017), pero diferente al de Avitia *et al.* (2014), quienes reportan el Ca como primer elemento absorbido por el cultivo de fresa cv Roxana en la etapa de fructificación y cosecha.

Dado que el Ca se mueve en la planta casi exclusivamente a través de la corriente transpiratoria (Demirsoy *et al.*, 2010) es la hoja el órgano con mayor contenido de Ca ya que es esta la que posee la mayor superficie de transpiración (Lieten y Misotten, 1993).

5.3.2 Correlación de datos de nutrición

En algunos puntos del muestreo se presentó una relación entre la absorción de N y la de K y la absorción de K y la de Ca; sin embargo, esta relación no se mantiene en el tiempo por lo que no se puede decir que en este trabajo se presente una correlación en la absorción de los nutrientes estudiados (Ver anexo D). Al respecto Ali *et al.* (2018); Hafeez *et al.* (2018); Cakmak (2017), afirman que la absorción de estos tres nutrientes presenta relación ya que el K y el Ca desempeñan un papel importante en la absorción, translocación y asimilación de N

en forma de NO^{-3} ; el K^{+} actúa en la síntesis y activación de la enzima Nitrato Reductasa, y el Ca^{+2} ayuda a entrar al NO^{-3} a la planta, mientras que el K^{+} y el Ca^{+2} son dos cationes que compiten entre sí por la entrada a la planta.

5.3.4 Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó el análisis de varianza para los diferentes tratamientos, campo abierto (CA) y macro túnel (MT), asumiendo que las repeticiones son los valores en general, sin tomar en cuenta el tiempo. Se encontró que los datos de N en hojas, K en hojas y frutos, solidos solubles totales y firmeza presentan diferencias estadísticas significativas entre ambientes. (Ver anexo E).

5.3.5 Relación de las variables climáticas y nutricionales

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para las variables climáticas y los contenidos de nutrientes (Ver anexo F), teniendo en cuenta los resultados obtenidos, las condiciones climáticas encontradas para campo abierto (mayor radiación PAR, menor temperatura y mayor humedad relativa) y macro túnel (menor radiación PAR, mayor temperatura y menor humedad relativa), considerando también lo observado en las figuras 11a, 11b, 12a, 12 b, 13a y 13b donde se presenta el contenido de N en hojas en campo abierto y macro túnel (figura 11a), el contenido de N en frutos en campo abierto y macro túnel (figura 11b), el contenido de K en hojas en campo abierto y macro túnel (figura 12a) el contenido de K en frutos en campo abierto y macro túnel (figura 12b), el contenido de Ca en hojas en campo abierto y macro túnel (figura 13a) y el contenido de Ca en frutos en campo abierto y macro túnel (figura 13b) y de acuerdo con los resultados encontrados en el análisis de varianza, se realizan las siguientes correlaciones.

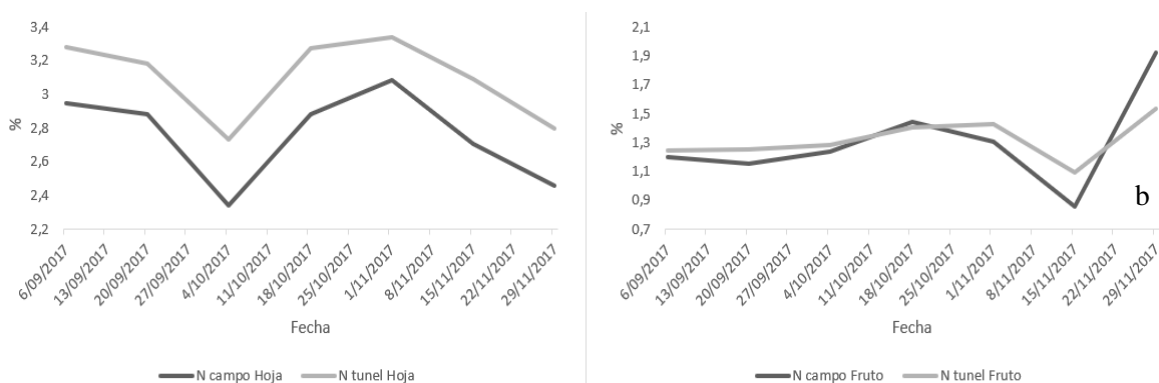


Figura 11. Contenido de N (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.

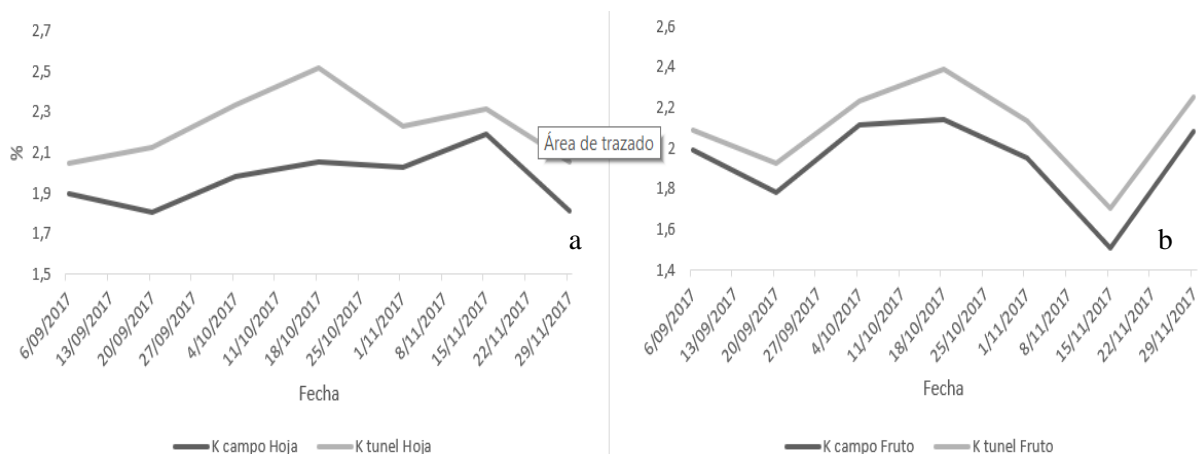


Figura 12 Contenido de K (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.

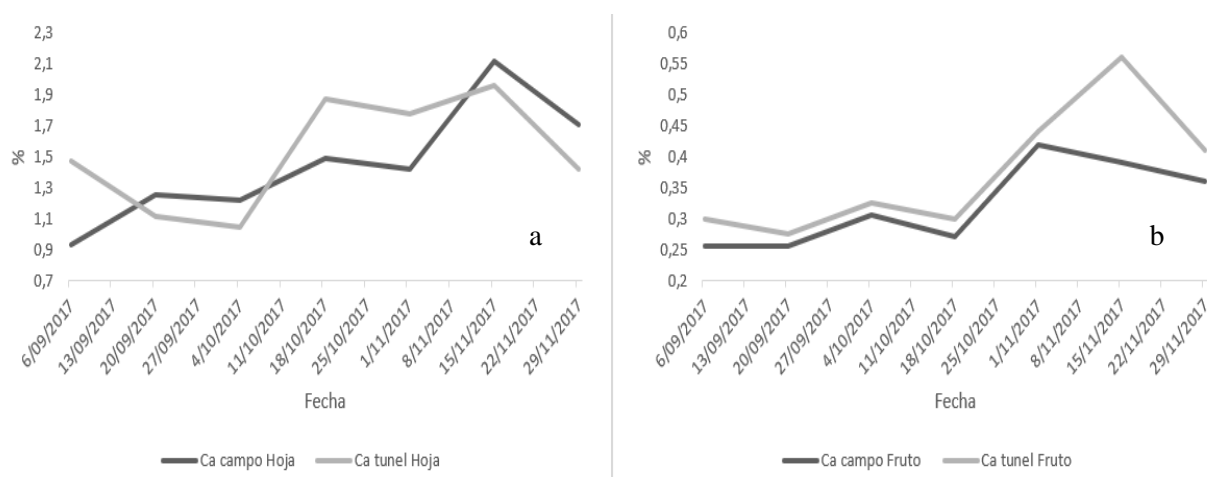


Figura 13 Contenido de Ca (%) en hojas (11a) y en frutos (11b). Fuente elaboración y formulación propia.

5.3.6 Efecto de la Temperatura

5.3.6.1 Efecto de la temperatura en la acumulación de N

Se encontró una correlación directa de 0,88 entre la temperatura y la acumulación de N en hojas, es decir, que en condiciones de mayor temperatura la acumulación de N en hojas fue mayor. Al respecto Adam (1991) y Demirsoy (2010), afirman que el contenido de N estuvo directamente relacionado con la temperatura del aire, ya que indirectamente esta variable climática influye en procesos de la planta como la transpiración y por tanto en la absorción de nutrientes.

La acumulación de N en frutos no se vio afectada por la temperatura.

5.3.6.2 Efecto de la temperatura en la acumulación de K

Se encontró una correlación directa entre la temperatura y la acumulación de K en hojas de 0,79; de igual manera se encontró una correlación directa entre la temperatura y la acumulación de K en frutos de 0,75; es decir, que en condiciones de mayor temperatura el contenido de K en hojas y en frutos fue mayor. Esto concuerda con lo mencionado por Adam (1991), quien afirma que el contenido de K estuvo estrechamente relacionado con la temperatura del aire, dado que influye en el funcionamiento de los estomas y por ende en la transpiración.

5.3.6.3 Efecto de la temperatura en la acumulación de Ca

La acumulación de Ca en hojas no se vio afectada por la temperatura, mientras que se presentó una correlación directa de 0,78 entre la temperatura y la acumulación de Ca en frutos, es decir, que en condiciones de mayor temperatura el contenido de Ca en frutos fue mayor.

Al respecto Demirsoy (2010), afirma que el contenido de Ca estuvo estrechamente relacionado con la temperatura del aire, de tal manera que concluye que el contenido de Ca aumentó con el aumento de la temperatura.

5.3.7 Efecto de la radiación PAR

5.3.7.1 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de N

Se encontró una correlación inversa entre la radiación PAR y la acumulación de N en hojas de -0,82, es decir, que en condiciones de menor radiación PAR la acumulación de N en hojas fue mayor. Al respecto no se encontró literatura que reporte el efecto de la radiación PAR en absorción de N en frutos, sin embargo, Adam (1991), menciona que el contenido de N estuvo directamente relacionado con la radiación solar.

En cuanto a la acumulación de N en frutos no se encontró correlación de esta con la radiación PAR.

5.3.7.2 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de K

Se encontró correlación inversa entre la radiación PAR y la acumulación de K en hojas de -0,80, es decir, que en condiciones de menor radiación PAR el contenido de K en hojas fue mayor. Al respecto no se encontró literatura que reporte el efecto de la radiación PAR en la absorción de K en frutos, sin embargo, Adam (1991), encontró que el contenido de K estuvo

directamente relacionado con la radiación solar.

Respecto a la acumulación de K en frutos se encontró una correlación inversa con la radiación PAR de -0,75, es decir, que una menor radiación PAR aumenta el contenido de K en frutos.

5.3.7.3 Efecto de la radiación PAR en la acumulación de Ca

No se encontró correlación entre la radiación PAR y el contenido de Ca en hojas. Al respecto Demirsoy (2010) afirma que el contenido de Ca estuvo estrechamente relacionado con la radiación solar. La no concordancia de los resultados puede estar relacionado a que en la investigación antes mencionada se trabajó con radiación incidente, mientras que en esta investigación se trabajó con radiación PAR.

Se encontró una correlación inversa entre la radiación PAR y el contenido de Ca en frutos de -0,70; es decir, que en condiciones de menor radiación PAR la acumulación de Ca en frutos fue mayor.

5.3.8 Efecto de la humedad relativa

5.3.8.1 Efecto de la humedad relativa en la acumulación de N

Se encontró correlación inversa entre la humedad relativa y la acumulación de N en hojas de -0,85, es decir, que en condiciones de menor humedad relativa la acumulación de N en hojas fue mayor.

La acumulación de N en frutos no presentó correlación con la humedad relativa. Al respecto Adams (1991) y Del Amor y Marcelis (2005), mencionan que la absorción de N no se vio afectada por la humedad relativa.

5.3.8.2 Efecto de la Humedad relativa en la acumulación de K

Se encontró una correlación inversa entre la humedad relativa y la acumulación de K en hojas de -0,76; es decir, que en condiciones de menor humedad relativa el contenido de K en hojas fue mayor.

La humedad relativa y la acumulación de K en frutos presentaron una correlación inversa de -0,74; es decir, que en condiciones de menor humedad relativa el contenido de K en frutos fue mayor.

Al respecto Adams (1991), reporta que la alta humedad relativa redujo el contenido de K de

la hoja.

5.3.8.3 Efecto de la Humedad relativa en la acumulación de Ca

Se encontró una correlación inversa entre la humedad relativa y la acumulación de Ca en hojas de -0,80; es decir, que a mayor humedad relativa menor acumulación de Ca y viceversa. Al respecto Adams (1991), Torre (2001), Nelson *et al.* (2003) y Xu *et al.* (2007), concluyeron que la Humedad relativa alta reduce el contenido de Ca en frutos.

Además, se encontró que la acumulación de Ca en frutos presentó una correlación de -0,70 con la humedad relativa; es decir, que en condiciones de menor humedad relativa la acumulación de Ca es mayor. Al respecto Cline y Hanson (1992), mencionan que el contenido de Ca en la fruta se ve afectado por la humedad relativa ya que esta influye en la transpiración del fruto a lo largo de su desarrollo.

La transpiración facilita el movimiento de agua y nutrientes en la planta a través del continuo agua-suelo-planta atmosfera (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008), este proceso depende de las condiciones ambientales que influyen también en la apertura y cierre estomático (Salisbury & Ross, 2000). Entre los factores climáticos que afectan la transpiración están la radiación solar, la temperatura y la humedad relativa (Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2008; Pritchard & Amthor, 2005)

De acuerdo con Naizaque *et al.* (2014), Solarte *et al.* (2010) y Barrera *et al.* (2009), la transpiración presenta una relación directa con la temperatura y la radiación solar e inversa con la humedad relativa, es decir que en condiciones de mayor temperatura, mayor radiación solar y menor humedad relativa se presenta mayor transpiración, estas condiciones climáticas aumentan la tasa de transpiración de la planta generando una mayor entrada de agua y nutrientes que se mueven a través de la corriente transpiratoria llegando la mayor parte de estos a las hojas dado que son los órganos de las plantas con mayor área transpiratoria (Corrales-González *et al.*, 2016; Ersoy y Demirsoy, 2006).

Lo anterior puede explicar los resultados encontrados en este trabajo, donde condiciones de mayor temperatura, menor humedad relativa y menor radiación PAR presentaron mayor contenido de N, K y Ca en hojas.

No se presentó correlación entre las variables climáticas y la acumulación de N en frutos,

esto puede estar relacionado a que el N es un elemento muy móvil en la planta por lo que podría estar más relacionado con el transporte vía floema que con las condiciones climáticas del lugar donde se encuentra establecido el cultivo (Daugaard, 2001).

Se presentó correlación entre las variables climáticas y la acumulación de K tanto en hojas como en frutos, esto puede ser explicado debido a que el K es uno de los elementos más importantes en la apertura y cierre estomático. Al respecto Hernández *et al.* (2009), encontraron que las plantas de tomate cultivadas a temperaturas elevadas y con baja humedad relativa aumentaron la absorción de K, ya que este elemento es requerido para controlar la transpiración y el incremento de la respiración.

También se presentó una correlación entre las variables climáticas y la acumulación de Ca en frutas, lo que puede ser explicado ya que el calcio se mueve exclusivamente a través de la corriente transpiratoria y dado la poca área de transpiración del fruto el aumento de la tasa de transpiración por efecto de las condiciones climáticas aumenta la absorción de Ca en hojas y frutos (Torre *et al.*, 2001). Al respecto Cline y Hanson (1992), evaluaron la influencia de la humedad relativa en la acumulación de Calcio en frutos de manzana y encontraron que la acumulación de Ca en la fruta estaba influenciada por la transpiración de estas a lo largo del desarrollo. También Bradfield y Guttridge (1979), evaluaron la dependencia del transporte de calcio y la quemadura de la hoja en fresa respecto a la humedad relativa y la concentración de la solución nutritiva, concluyendo que el flujo transpiracional es importante en el transporte de calcio.

5.4 Calidad del fruto

5.4.1 Firmeza

Es uno de los parámetros más utilizados para determinar el grado de madurez de un fruto, normalmente se entiende como la fuerza necesaria para deformar un fruto. Se utiliza para evaluar la calidad durante el almacenamiento y la comercialización del fruto ya que a mayor firmeza de fruto mayor probabilidad de soportar el proceso de transporte y almacenamiento hasta el consumidor final (Gutiérrez *et al.*, 2007; Africano *et al.*, 2015).

De acuerdo con la RAEA (2005) la fresa cv Albión presenta un valor de firmeza media entre 1,71 a 3,63 N lo cual concuerda con lo hallado en esta investigación, encontrándose valores

de firmeza entre 1,76 y 2,65 N.

En la figura 14 se presenta la comparación de la firmeza entre ambientes, donde se observó que los frutos de macro túnel fueron más firmes que los de campo abierto; presentándose además diferencias significativas estadísticas entre ambientes para este parámetro.

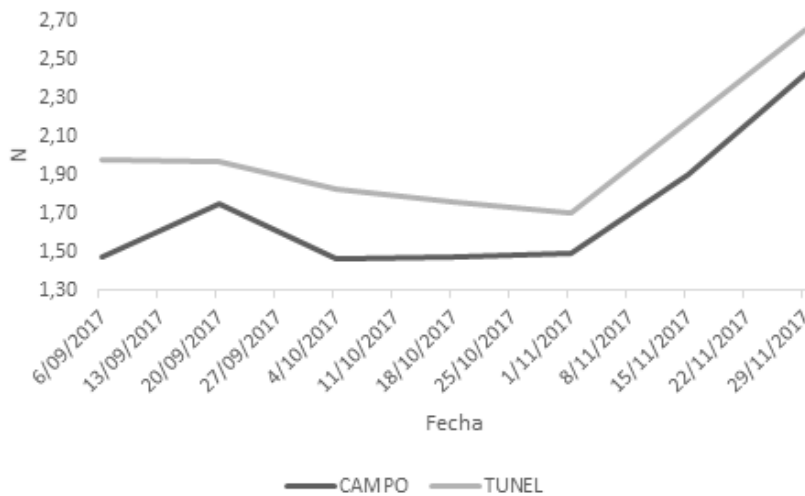


Figura 14 Comparación de la firmeza en Newtons (N) entre ambientes

5.4.2 Color

Es un parámetro muy importante en la determinación del estado de madurez y la calidad de la fruta. Este puede ser medido mediante la utilización de coordenadas colorimétricas entre las que se encuentran RGB, CIE-XYZ y CIE-L*a*b, los cuales permiten su interrelación por medio del uso de matrices de transformación (Ortiz, 2002; Castro *et al.*, 2013). El modelo CIE-L*a*b* es el más recomendado para hacer mediciones de este en frutas y vegetales; estos parámetros representan la luminosidad (L: blanco o negro), a y b las coordenadas cromáticas rectangulares (a+ rojo, a- verde, b+ amarillo, b- azul) (Padrón *et al.*, 2012; Padrón, 2010).

Solórzano *et al.* (2005) y la RAEA (2014), demostraron que para fresa trabajando con el modelo de color CIE-L*a*b* el parámetro a* es el más representativo, por lo que los resultados que involucren la variable color solo se darán con el parámetro a*.

De acuerdo con Roudeillac y Trajkovski (2004) y Martínez (2008) para fresa el intervalo de color para el parámetro a* es de 22 a 28,12, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación donde los valores para el parámetro a* se encuentran entre 23,92 y 28,10.

En la figura 15 se presenta la comparación del color de la fresa entre ambientes, teniendo en cuenta lo mencionado por Solórzano *et al.* (2005) y la RAEA (2014) solo se representó el parámetro a^* donde se observó que los frutos de macro túnel presentan un color más rojo que los de campo abierto; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas estadísticas entre ambientes para este parámetro.

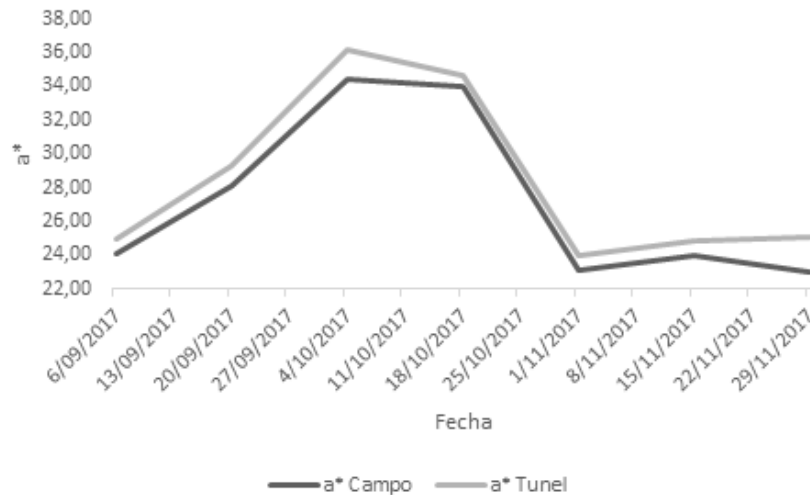


Figura 15 Comparación de color, parámetro a^* , entre ambientes

5.4.3 Sólidos Solubles Totales - °Brix

Durante la maduración se presentan cambios tales como la conversión del almidón en azúcares solubles que incrementan el sabor dulce de los frutos, también se puede dar la degradación de carbohidratos poliméricos y celulosa, por lo que el sabor también se ve afectado por la textura (Africano *et al.*, 2015).

En frutos como la mora y la fresa que carecen de almidón y tiene una baja capacidad fotosintética, la acumulación de azúcares proviene de las reservas de carbohidratos de la planta (Gómez, 2004).

De acuerdo con Roudeillac y Trajkovski (2004) y Correira *et al.*, (2011) para fresa el intervalo de sólidos solubles totales adecuado se encuentra entre 7 y 12, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación encontrándose valores de este parámetro entre 7,46 y 12,01.

En la figura 16 se presenta la comparación del contenido de sólidos solubles totales en los frutos entre ambientes, donde se observó que los frutos de macro túnel presentan mayor °Brix que los de campo abierto; presentándose además diferencias significativas estadísticas entre

ambientes para este parámetro.

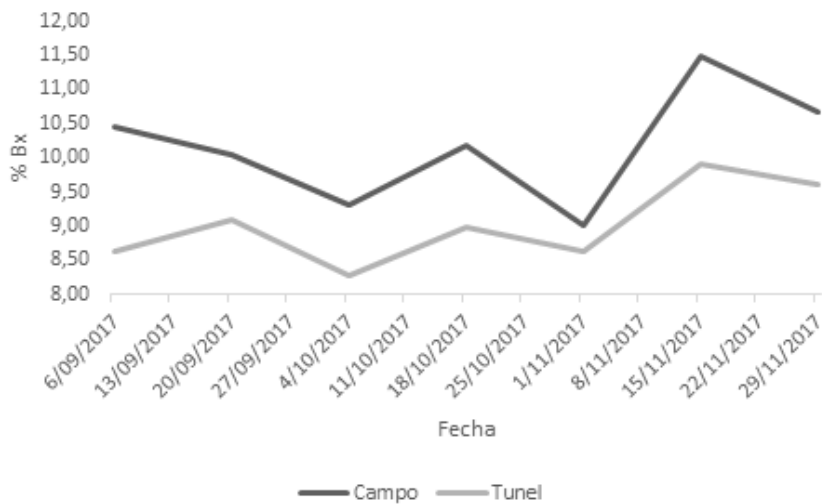


Figura 16 Comparación de contenido de sólidos solubles totales entre ambientes

Este resultado puede ser consecuencia de un mayor valor en la tasa de asimilación neta del cultivo (TAN), donde las plantas de macro túnel hicieron un menor uso de la radiación generando una mayor producción de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo, de tal manera que el transporte de asimilados es proporcional a su producción, resultando en una mayor acumulación de sólidos solubles totales en los frutos (Casierra-Posada, 2011a; Casierra-Posada, 2011b).

5.4.4 Acidez Total Titulable

Indica el contenido de ácidos libres y se determina mediante una valoración volumétrica con un reactivo básico, que generalmente es Hidróxido de Sodio (NaOH); el resultado de esta valoración se expresa como el % de ácido predominante en el material que se esté analizando, para el caso de fresa el resultado se expresa como porcentaje de ácido cítrico.

De acuerdo con Correira *et al.* (2011); Roudeillac y Trajkovski (2004), los valores de acidez total titulable para fresa deben estar en un rango entre 0,42 a 1,81%, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación donde los valores de acidez total titulable se encuentran entre 0,7 y 1,4%.

En la figura 17 se presenta la comparación de la acidez total titulable frutos de fresa entre ambientes, donde se observó que los frutos de macro túnel son más ácidos que los de campo abierto; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas estadísticas entre ambientes para este parámetro.

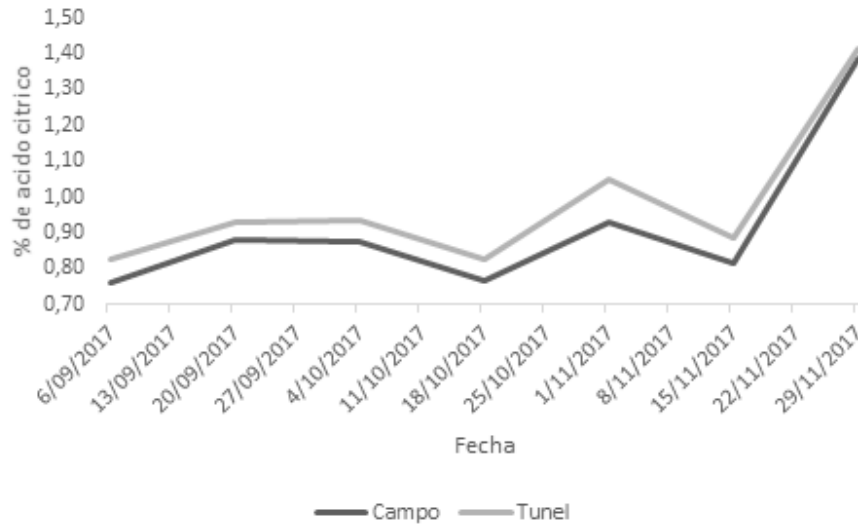


Figura 17 Comparación de la acidez total titulable entre ambientes

5.4.5 Peso fresco de la fruta

En la figura 18 se presenta la comparación del peso de los frutos de fresa entre ambientes y se encontró que los frutos en campo abierto son más pesados con valores entre 15,10g y 38,15g; que en macro túnel con valores entre 12,60g y 36,70g. Sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre ambientes para este parámetro.

De acuerdo con Murray *et al.*, (2005) y (Martínez-Vega, 2008) el peso fresco de la fruta está relacionado con la radiación y la tasa máxima de fotosíntesis, además con una mayor tasa transpiratoria que incrementaría el transporte de la corriente xilemática prolongando la afluencia de agua y nutrientes favoreciendo el llenado del fruto.

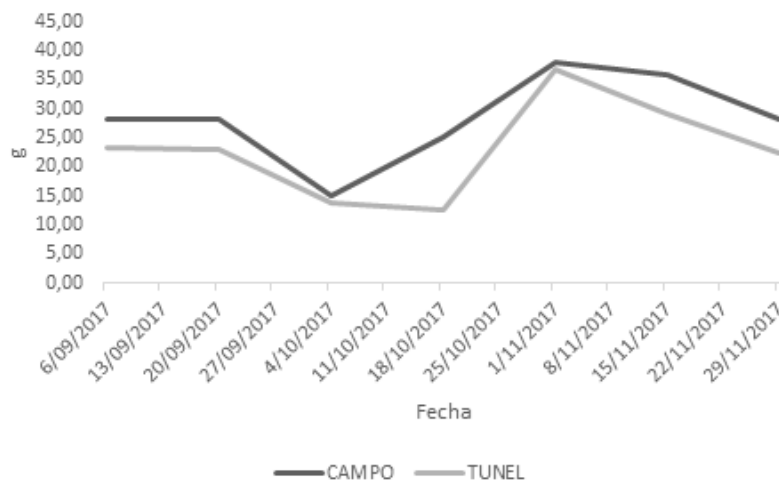


Figura 18 Comparación del peso fresco de los frutos entre ambientes

5.5 Análisis de correlación entre las variables climáticas y calidad del fruto

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para las variables climáticas y de calidad de los frutos de fresa y se encontró que condiciones mayores de temperatura, en conjunto con menor radiación PAR y menor humedad relativa favorecen un mayor contenido de sólidos solubles totales en frutos. Se presentó una correlación directa entre el contenido de sólidos solubles totales y la temperatura de 0,83 y una correlación inversa con la humedad relativa y la radiación PAR de -0,79 y -0,76 respectivamente. Este resultado podría estar influenciado por un mayor contenido de K en frutos y frutos bajo estas mismas condiciones climáticas, que favorecerían la relación fuente vertedero generando frutas más dulces. Al respecto Cantliffe *et al.*, (2007) mencionan que el aumento de temperatura reduce la concentración de sólidos solubles totales en frutos de fresa, mientras que Lado *et al.*, (2010) reporta que un aumento de la temperatura aumenta la concentración de Sólidos Solubles totales.

Una mayor firmeza se encontró en condiciones de mayor temperatura, menor humedad relativa y menor radiación PAR. Se presentó una correlación directa entre la firmeza y la temperatura de 0,77 y una correlación inversa con la humedad relativa y la radiación PAR de -0,83 y -0,72 respectivamente.

El resultado puede estar relacionado con un mayor contenido de Ca en frutos que debió haber sido absorbido durante la etapa de crecimiento de este órgano y cuya absorción pudo estar influenciado por las condiciones climáticas antes mencionadas. Respecto a esto Borges (2017), afirma que condiciones climáticas de menor humedad relativa aumentan la firmeza del fruto debido a un aumento en el contenido de calcio de este.

No se encontró en esta investigación correlación de las variables climáticas con el peso del fruto, color, y acidez total titulable. Al respecto Agüero, (2015) y Lado *et al.*, (2010), mencionan que dichas características de calidad de los frutos han sido asociadas con variables de clima (temperatura, humedad relativa, radiación y precipitación). Esto puede estar relacionado con que estos autores trabajaron en zonas con estaciones donde los efectos de las variables climáticas pueden ser más fuertes, mientras que este trabajo al desarrollarse en zona tropical no presenta tan marcadas condiciones climáticas que puedan mostrar un amplio efecto.

Los resultados de la correlación de las variables climáticas y los parámetros de calidad se presentan en el Anexo G.

5.6 Análisis de correlación entre las variables nutricionales y de calidad

Se realizó un análisis de correlación entre las variables nutricionales y los cinco parámetros de calidad muestreados y se encontró una correlación directa entre el contenido de K y los sólidos solubles totales del fruto con un valor de 0,75; es decir, que a mayor acumulación de K en frutos, mayor será el contenido de sólidos solubles totales de fruto y una correlación directa entre el contenido de calcio y la firmeza del fruto con un valor de 0,78; es decir que a mayor acumulación de calcio en frutos, mayor firmeza (Ver anexo H).

Los resultados para K concuerdan con los mencionado por Yadav *et al.* (2013), Hornedo-ortega *et al.* (2016) y Borges (2017), quienes afirman que el transporte de fotoasimilados desde los órganos fuente hasta los órganos vertedero a través del floema consume energía que es impulsada por la enzima ATPasa activada por K, por lo cual bajas concentraciones de este elemento reducen el transporte de fotoasimilados reduciendo la calidad del fruto, el peso, la concentración de sólidos solubles y el color; sin embargo, para este estudio no se presentaron correlaciones entre el peso del fruto y el color con el contenido de K.

De acuerdo con Borges (2017) y Zsivanovits *et al.* (2004), el contenido de calcio y la firmeza del fruto están correlacionados dado que en el proceso de ablandamiento se presentan modificaciones en la estructura de la pared celular, generándose despolimerización de glicanos y solubilización de pectinas, las cuales forman geles cuyo proceso de hidratación y disolución genera la salida de los iones Ca^{+2} y con esto la pérdida de resistencia y elasticidad de los frutos. Esta afirmación concuerda con los resultados obtenidos en este ensayo.

En este trabajo no se presentó relación entre la concentración de N y ninguno de los parámetros de calidad del fruto, este resultado concuerda con lo encontrado por Cantliffe *et al.* (2007), quienes reportan que la concentración de N no influyó en la calidad de los frutos de fresa, mientras que Lovaisa *et al.* (2016) y Chavez-Sanchez *et al.* (2014), mencionan que la aplicación adecuada de N está relacionada con la acidez total titulable, mientras que el exceso de este nutriente puede reducir el contenido de sólidos solubles totales en fresa.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Existen diferencias climáticas entre macro túnel y campo abierto, encontrándose que los valores de radiación PAR y de humedad relativa fueron mayores en campo abierto, mientras que los valores de temperatura fueron mayores en macro túnel, presentándose una diferencia de transmisión de Radiación del 23%, un Δ de Temperatura de 1°C y un Δ de Humedad relativa de 1,6% entre ambientes.
- La concentración de N, K y Ca tanto en frutos como en hojas fue mayor en macro túnel que a campo abierto, presentándose en esta investigación la absorción de nutrientes para esta variedad en frutos $N > K > Ca$, mientras que en hoja $K > N > Ca$.
- Condiciones de mayor temperatura, menor humedad relativa y menor radiación PAR favorecen un mayor contenido de N y K en hojas, así como de K, Ca en frutos.
- Las condiciones de temperatura y radiación PAR no afectaron el contenido de N en frutos.
- Las condiciones de temperatura y radiación PAR no tuvieron influencia en el contenido de Ca en frutos; sin embargo, la humedad relativa presentó una relación negativa directa con el contenido de Ca en frutos.
- Se presentó correlación positiva entre el contenido de K y los sólidos solubles totales del fruto y entre el contenido de Ca y la firmeza del fruto.
- Condiciones de mayor temperatura, menor radiación PAR y menor Humedad relativa favorecen un mayor contenido de sólidos solubles totales y una mayor firmeza, generando así frutos más dulces y firmes.

6.2 Recomendaciones

Este trabajo ha presentado un aporte para comprender la relación de la temperatura, humedad relativa y radiación PAR con la acumulación de N, K y Ca en hojas y frutos y con el peso, color, sólidos solubles totales, acidez total titulable y firmeza de los frutos en plantas de fresa cv Albión.

Se recomienda:

Incluir otras variables climáticas como la precipitación.

Realizar el estudio con micronutrientes ya que estos también son importantes en la nutrición de las plantas de fresa.

Incluir datos de rendimiento

Relacionar las variables climáticas con curvas de absorción de nutrientes y de crecimiento y desarrollo del cultivo

Realizar el estudio en localidades contrastantes.

Realizar el estudio en otras variedades de importancia comercial como San Andreas.

ANEXO A. Modelo de Vensim

Ecuaciones implementadas en el modelo

CaF= INTEG (Transp Ca, CaFi)

CaH= INTEG (Entrada Ca-Transf Ca-Transp Ca, Cai) NH= INTEG (Entrada N-Transf N-

Transp N, Ni) NF= INTEG (Transp N,NFi)

KF= INTEG (Transp K, KFi)

KH= INTEG (Entrada K-Tranf K-Transp K, Ki)

Entrada Ca= NH*F ambiental/Krnca

Entrada K= NH*F ambiental/Krnk

Entrada N= (KH*Krnk)*F ambiental

F ambiental= IF THEN ELSE((f temp*f PAR*f HR)>=1, 1, f temp*f PAR*f HR)

f HR= (0.0372*Hum) - 0.2444-(0.0003*(Hum^2))

f PAR= PAR*ef

f temp= 2.2^(0.1*(T-28)) Transp

K= KH*F ambiental*Ktpk Tranf

K=KH*F ambiental*Ktk Transf

Ca= CaH*F ambiental*Ktca Transf

N=NH*F ambiental*Ktn Transp

N=NH*F ambiental*Ktpn Transp

Ca=CaH*F ambiental*Ktpc

NFi[Sit,LR]= nitrogeno fruto inicial

Krnk= coeficiente de relación de Nitrógeno – Potasio

Krkca= coeficiente de relación de Calcio y Potasio CaFi= Calcio fruto inicial

Cai= Calcio hoja inicial

ef= eficiencia de PAR

KFi= Potasio fruto inicial

Ki= Potasio hoja inicial

Ni= Nitrógeno hoja inicial

Ktca= tasa de traslocación de Calcio

Ktk= tasa de traslocación de Potasio

Ktn= tasa de traslocación de Nitrógeno

Ktpc= tasa de traslocaci6n de Calcio al fruto

Ktpk= tasa de traslocaci6n de Potasio al fruto

Ktpn= tasa de traslocaci6n de Nitr6geno

Tabla del ajuste del modelo

Tabla 9. Evaluaci6n del ajuste del modelo mediante diferentes estadísticos

Variable	%RMSE	NS	U	ρ
Nitr6geno en hoja	8,96	0,09	0,04	0,75
Nitr6geno en fruto	18,08	-0,03	0,08	0,38
Potasio en hoja	7,51	0,03	0,03	0,73
Potasio en fruto	12,19	0,01	0,06	0,70
Calcio en hoja	18,31	0,18	0,09	0,63
Calcio en fruto	24,67	0,14	0,11	0,71
S6lidos solubles totales	9,38	0,02	0,04	0,72
Índice de color	15,6	0,32	0,07	0,53
Firmeza	17,25	0,24	0,08	0,58
Acidez total titulable	26,83	-0,40	0,13	-0,29
Peso	17,27	0,37	0,08	0,63

Figuras comparativas entre lo simulado y lo experimental

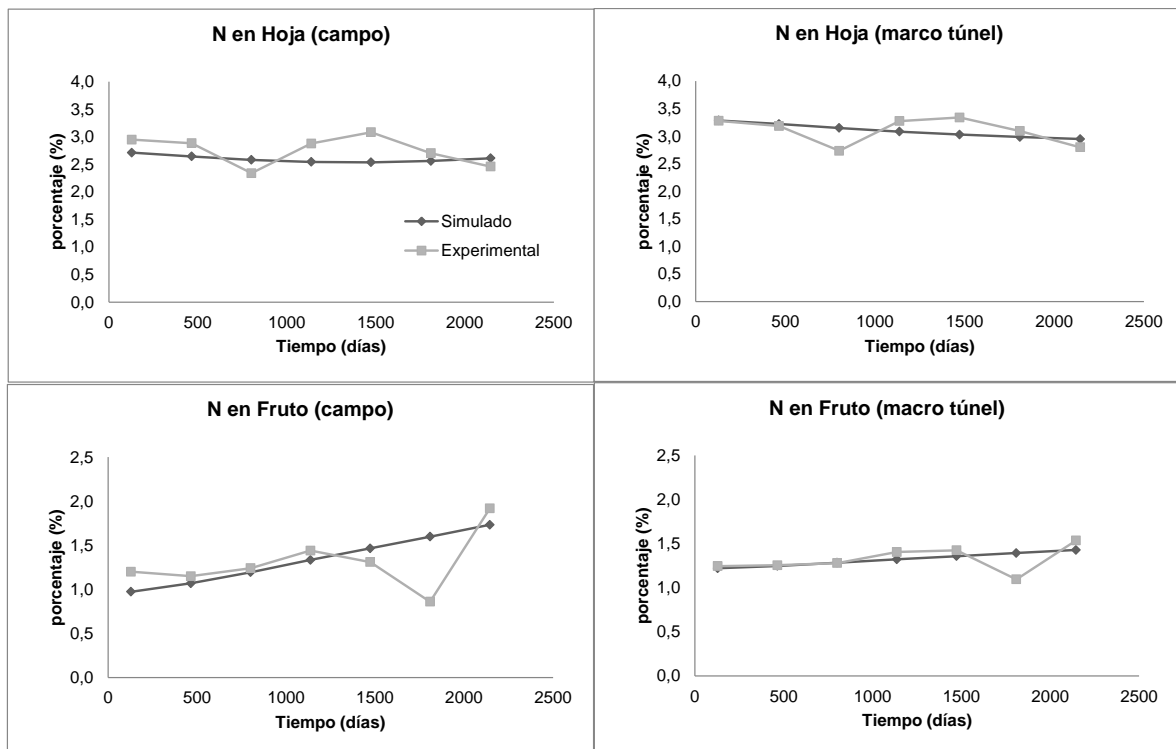


Figura 19 Comparaci6n de los datos experimentales y simulados de la acumulaci6n de N en los dos ambientes

EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE LA ACUMULACION DE NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv Albión).

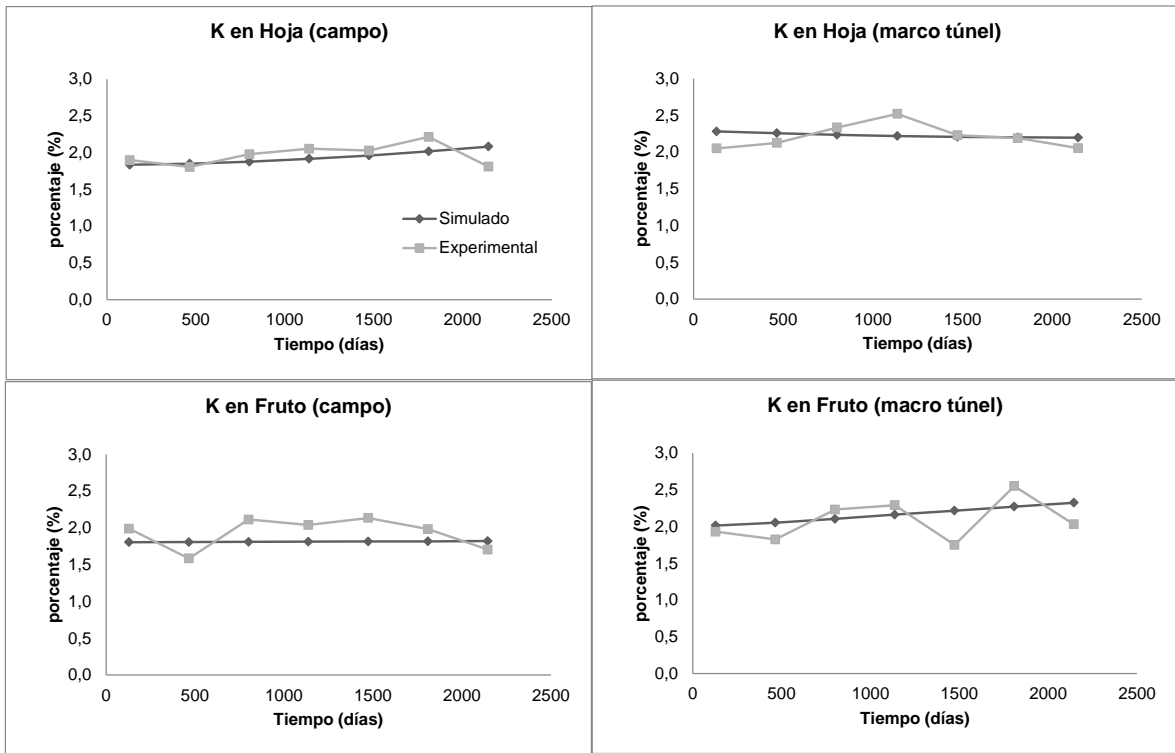


Figura 20 Comparación de los datos experimentales y simulados de la acumulación de K en los dos ambientes

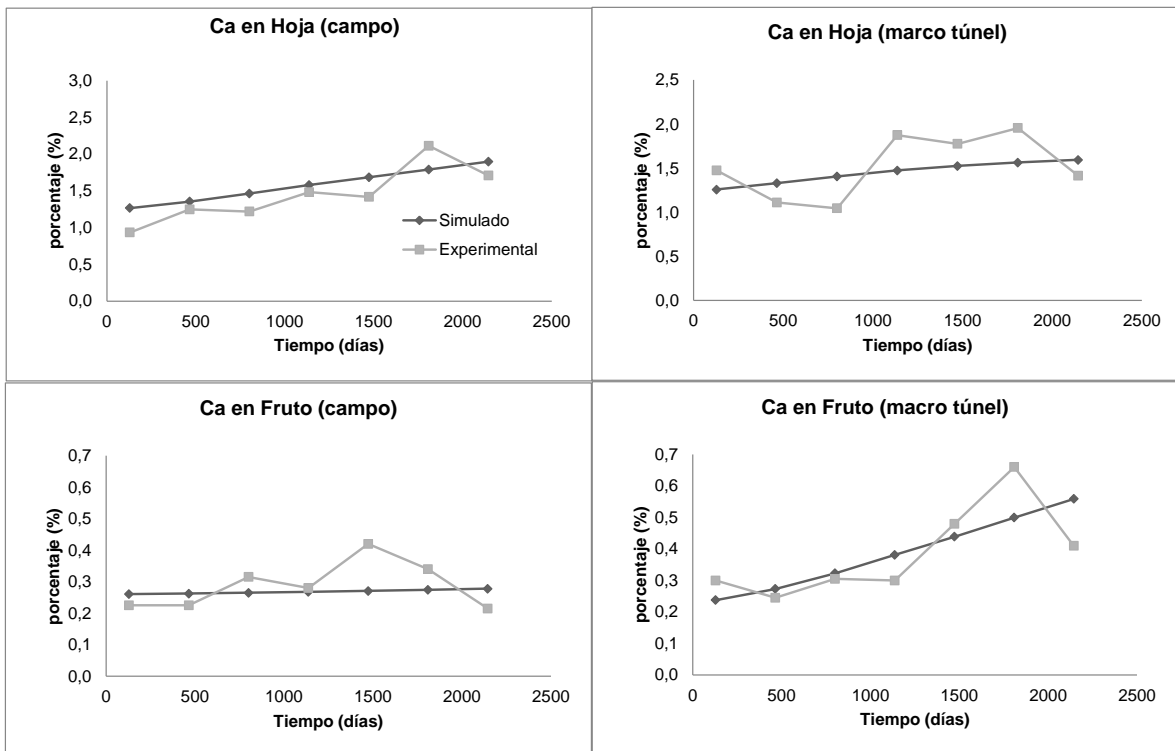


Figura 21 Comparación de los datos experimentales y simulados de la acumulación de Ca en los dos ambientes

EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE LA ACUMULACION DE NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv Albión).

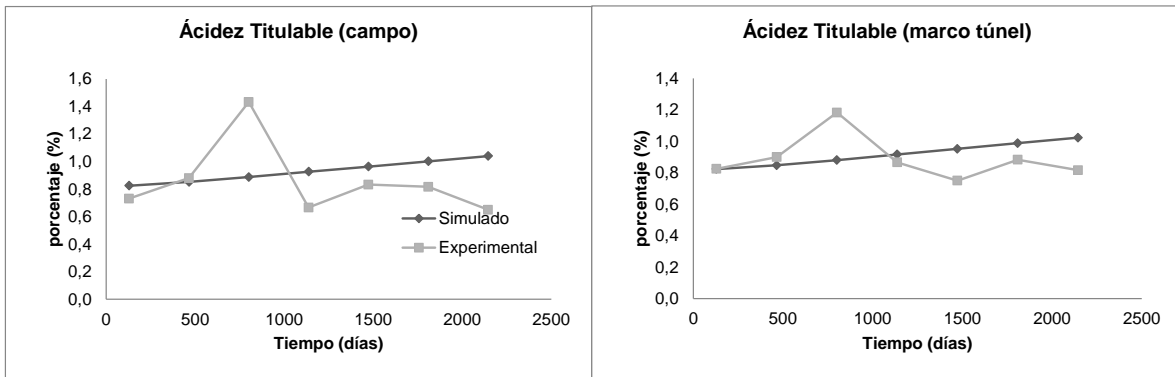


Figura 22 Comparación de los datos experimentales y simulados de la acidez total titulable en los dos ambientes

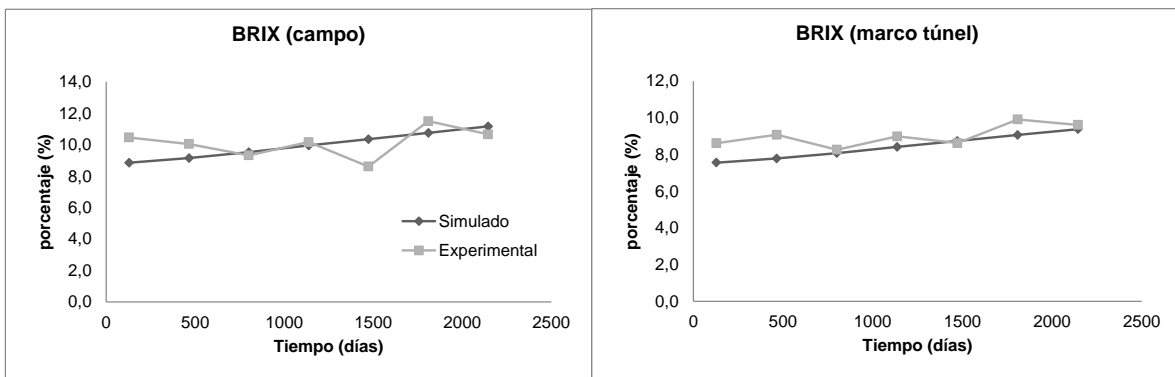


Figura 23 Comparación de los datos experimentales y simulados del contenido de solidos solubles totales en los dos ambientes

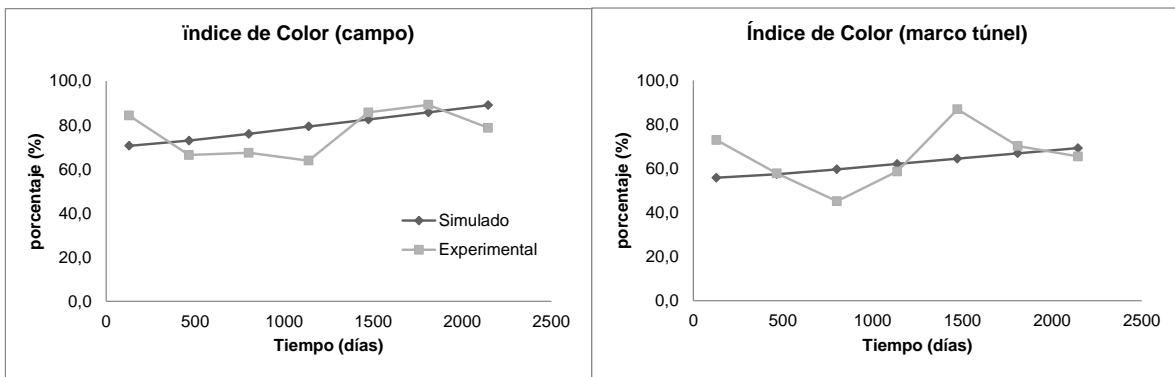


Figura 24 Comparación de los datos experimentales y simulados del color en los dos ambientes

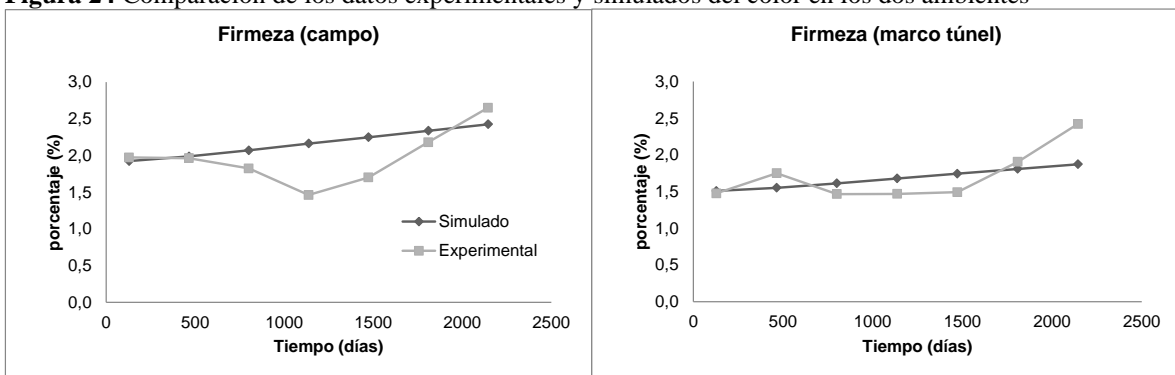


Figura 25 Comparación de los datos experimentales y simulados de la firmeza en los dos ambientes

EFFECTOS DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE LA ACUMULACION DE
NITRÓGENO, CALCIO Y POTASIO EN CULTIVOS DE FRESA (*Fragaria ananassa* Deuch cv
Albión).

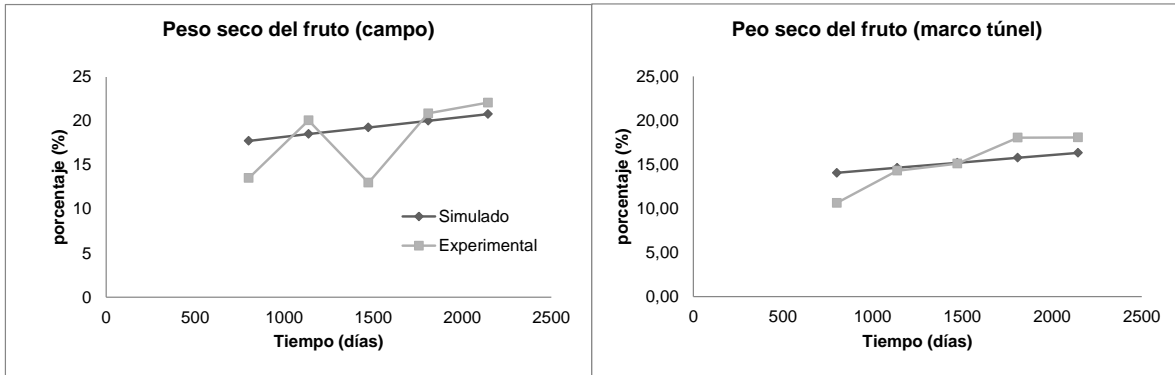


Figura 26 Comparación de los datos experimentales y simulados del peso fresco de la fruta en los dos ambientes

ANEXO B. DESCOMPOSICIÓN DE LA SERIE DE TIEMPO

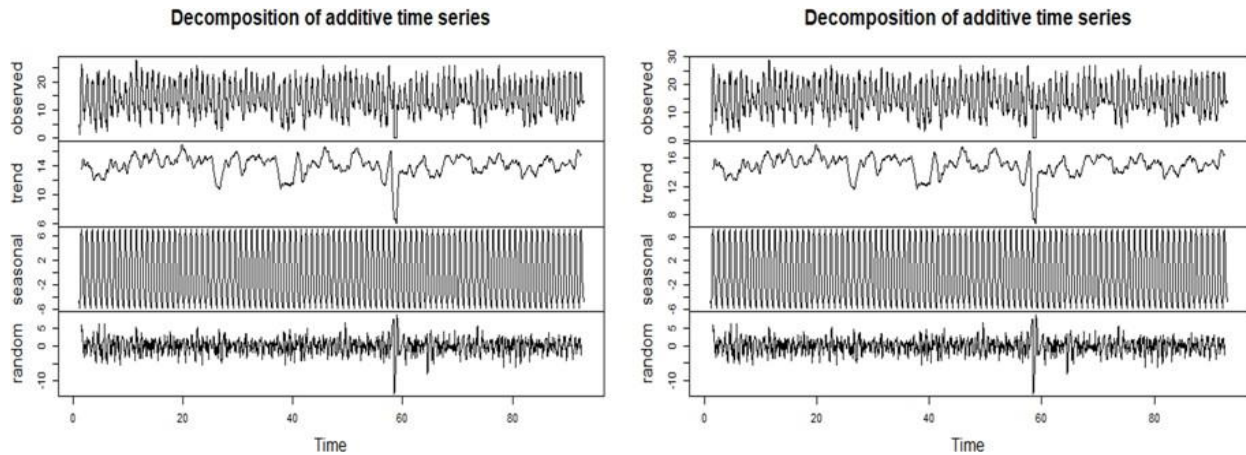


Figura 27 Descomposición de la serie de tiempo temperatura (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel

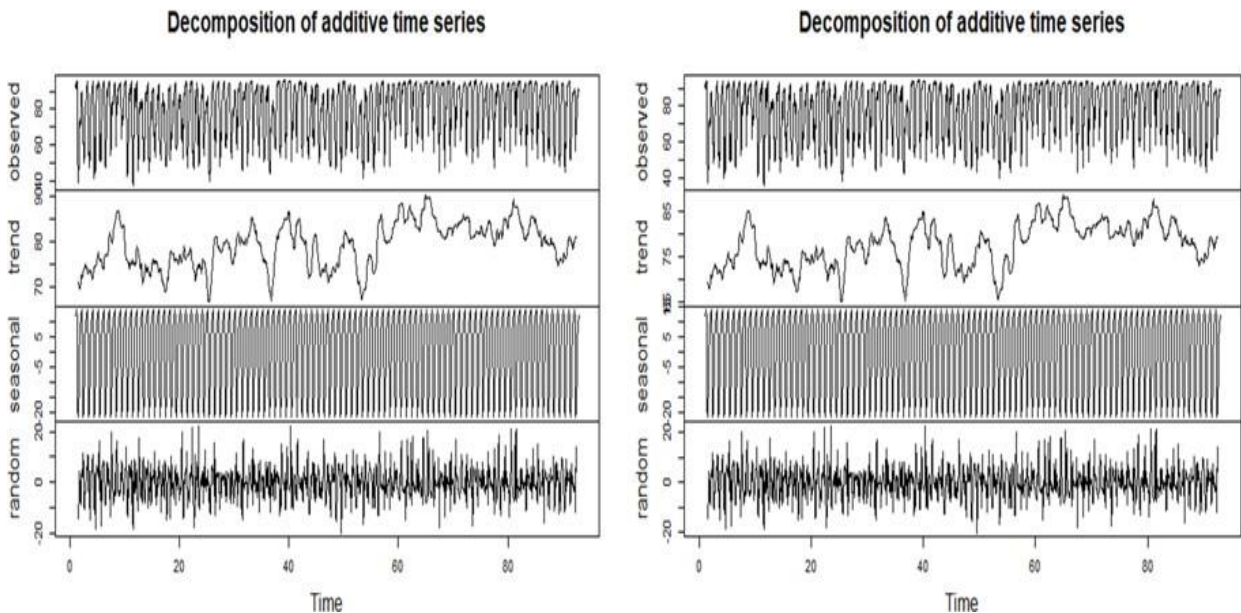


Figura 28 Descomposición de la serie de tiempo Humedad relativa (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel

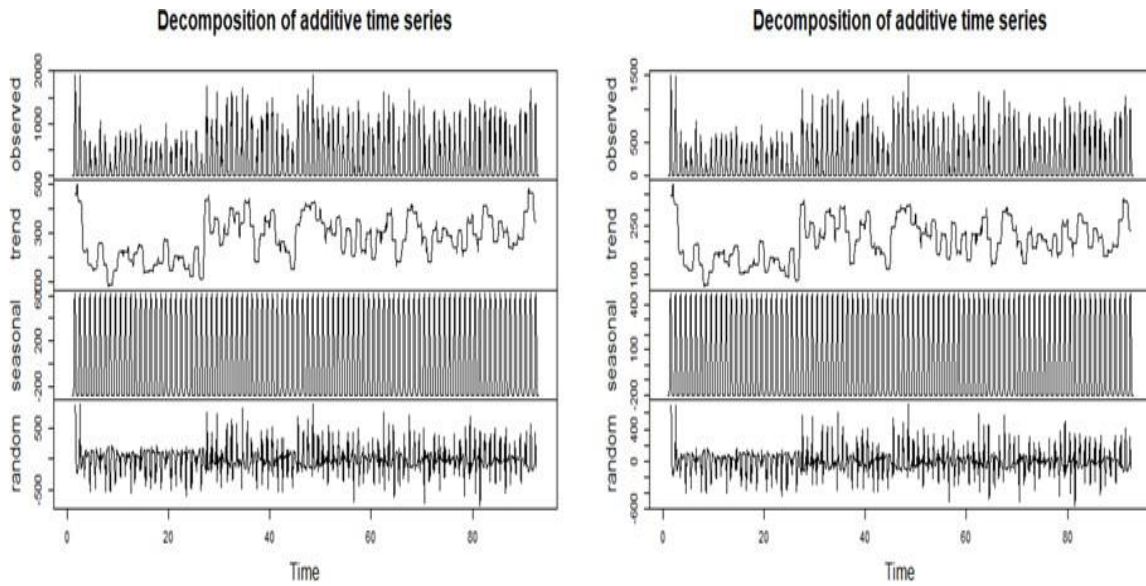


Figura 29 Descomposición de la serie de tiempo Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel

ANEXO C. Correlación entre variables climáticas

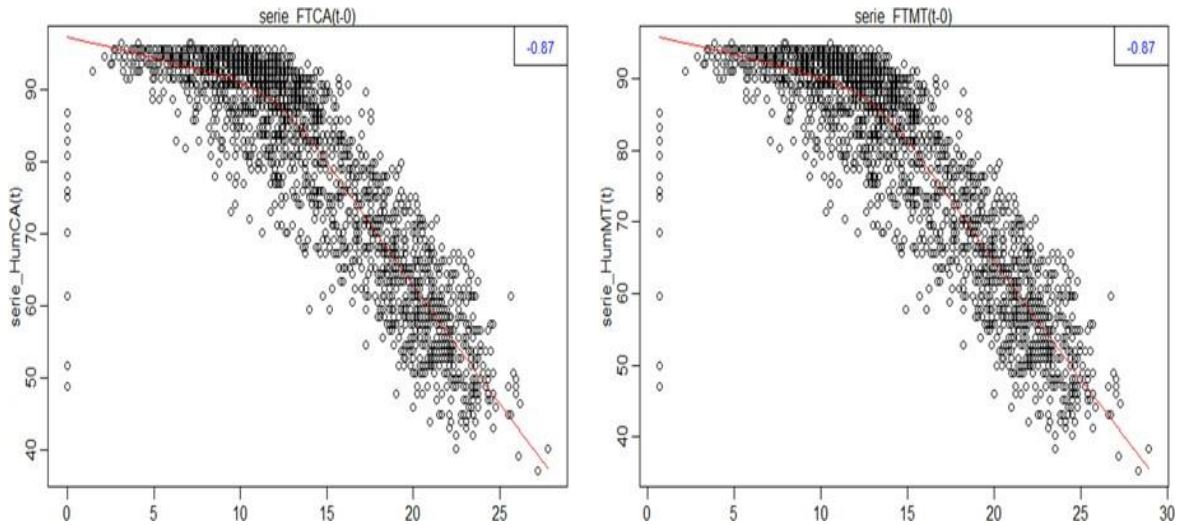


Figura 30 Correlación entre la Temperatura y la Humedad relativa (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)

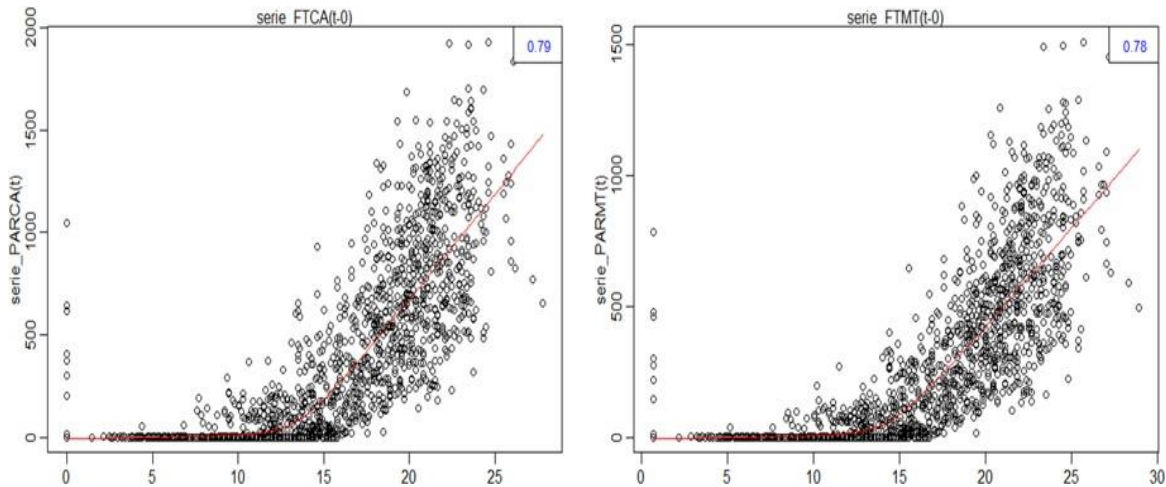


Figura 31 Correlación entre la Temperatura y la Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)

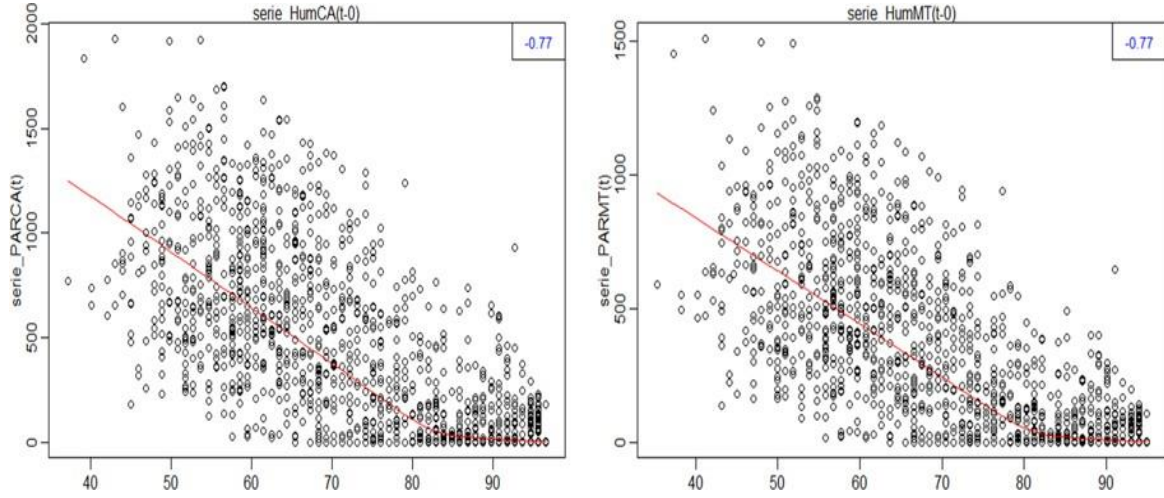


Figura 32 Correlación entre la Humedad relativa y la Radiación PAR (Izq.) Campo abierto y (Der) Macro túnel (el valor en azul corresponde a la correlación de Pearson)

**ANEXO D. CORRELACIONES ENTRE CONTENIDOS
NUTRICIONALES****Tabla 10** Correlación de variables climáticas

	N hojas	K hojas	Ca hojas	N frutos	K frutos
K hojas	0,50				
Ca hojas	0,05	0,28			
N frutos	-0,12	-0,21	-0,04		
K frutos	0,17	0,55	0,21	-0,17	
Ca frutos	0,26	0,32	0,50	-0,07	0,44

ANEXO E. ANOVA (Análisis univariante)

ANOVA para N en hojas según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,826289	1	0,826289	10,97	0,0027
Intra grupos	1,95801	26	0,075308		
Total (Corr.)	2,7843	27			

ANOVA para N en frutos según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,00205714	1	0,00205714	0,02	0,8813
Intra grupos	2,35269	26	0,0904879		
Total (Corr.)	2,35474	27			

ANOVA para K en hojas según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,417729	1	0,417729	11,66	0,0021
Intra grupos	0,931843	26	0,0358401		
Total (Corr.)	1,34957	27			

ANOVA para K en frutos según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,1575	1	0,1575	1,94	0,001758
Intra grupos	2,11444	26	0,0813247		
Total (Corr.)	2,27194	27			

ANOVA para Ca en hojas según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0378893	1	0,0378893	0,25	0,6205
Intra grupos	3,92341	26	0,1509		
Total (Corr.)	3,9613	27			

ANOVA para Ca en frutos según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0660571	1	0,0660571	4,10	0,0533
Intra grupos	0,418914	26	0,0161121		
Total (Corr.)	0,484971	27			

ANOVA para Solidos solubles totales según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	8,37129	1	8,37129	7,12	0,00130
Intra grupos	30,576	26	1,176		
Total (Corr.)	38,9473	27			

ANOVA para Color según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	880,882	1	880,882	4,34	0,0872
Intra grupos	5278,09	26	203,004		
Total (Corr.)	6158,97	27			

ANOVA para firmeza según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,452629	1	0,452629	2,84	0,03039
Intra grupos	4,14231	26	0,15932		
Total (Corr.)	4,59494	27			

ANOVA para Acidez total titulable según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,0063	1	0,0063	0,13	0,7244
Intra grupos	1,28979	26	0,0496071		
Total (Corr.)	1,29609	27			

ANOVA para Peso de la fruta según el sitio

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	35,9924	1	35,9924	2,51	0,1305
Intra grupos	258,129	18	14,3405		
Total (Corr.)	294,122	19			

**ANEXO F. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES
CLIMÁTICAS Y NUTRICIONALES****Tabla 11.** Correlación de las variables climáticas y nutricionales

	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad Relativa</i>	<i>Radiación PAR</i>
N hojas	0,882110964	-0,853942947	-0,829737847
K hojas	0,791750364	-0,769805521	-0,804596945
Ca hojas	0,233627176	-0,800399819	-0,138506456
N frutos	0,017757498	-0,393932906	-0,233301157
K frutos	0,754214256	-0,746540809	-0,75697351
Ca frutos	0,728440682	-0,701891914	-0,700157939

ANEXO G. CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y LOS PARAMETROS DE CALIDAD

Tabla 12 Correlación entre las variables climáticas y los parámetros de calidad

	Temperatura	Humedad relativa	Radiación PAR
Firmeza	0,83236945	-0,794353922	-0,766530289
Acides total titulable	0,77287055	-0,831365397	-0,719432734
L*	0,58621685	-0,323641639	-0,308614796
a*	0,48264598	-0,361519694	-0,113435815
b*	0,41840928	-0,54135121	-0,068530646
b*	0,54554149	-0,529483286	-0,205651776
Peso	0,25618304	-0,375988454	-0,447097549

**ANEXO H. CORRELACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE
NUTRIENTES Y LOS PARAMETROS DE CALIDAD****Tabla 13.** Colación entre la acumulación de nutrientes y los parámetros de calidad

	Nitrógeno	Potasio	Calcio
Solidos solubles totales	-0,12	0,75	0,32
Firmeza	0,29	0,11	0,78
Acides total titulable	-0,52	0,39	-0,28
L*	0,12	0,32	0,37
a*	-0,08	0,11	-0,15
b*	0,27	0,38	0,39
Peso	-0,22	0,26	0,22

7. BIBLIOGRAFÍA

Abu-Taleb A. A, Alawneh A. J y Smadi M. M. 2007. Statistical Analysis of Recent Changes in Relative Humidity in Jordan. American Journal of Environmental Sciences 3 (2): 75-77, 2007

Acosta A.G. 2013. Aplicación foliar de tres dosis de Calcio y tres dosis de boro en el cultivo de fresa (*fragaria x ananassa. duch*) cultivar oso grande, bajo cubierta. Tesis de Pregrado, Ingeniería Agronómica. Universidad técnica de Ambato, Ecuador.

Adams, P. 1991. Effect of diurnal fluctuations in humidity on the accumulation of nutrients in the leaves of tomato (*Lycopersicon esculentum*). J Horti Sci. 66:545-550.

Adams P y Holder R. 1992. Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit of tomato (*Lycopersicon esculentum*). J. Hort, Sci, 67, 137-42.

Africano A L, Almanza-Merchán P J, Balaguera-López H E. 2015. Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Una Revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas - Vol. 9 - No. 1 - pp. 161-172

Agami R.A, Alamri S.A.M, Abd El-Mageed T.A, Abousekken MSM, Hashem M. 2018. Role of exogenous nitrogen supply in alleviating the deficit irrigation stress in wheat plants. Agricultural Water Management 210 (2018) 261–270

Agüero J, J. 2012. Bases nutricionales del cultivo de frutilla (Tesis de Maestría en el área de producción vegetal). Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Agüero J.J; Kirschbaum D.S. 2013. Approaches to nutrient use efficiency of different strawberry genotypes. Intl. J. Fruit Sci.13, 139-148.

Agüero J, Salazar S.M, Kirschbaum D S y Jerez E F. 2015. Factors Affecting Fruit Quality in Strawberries Grown in a Subtropical Environment International Journal of Fruit Science. April 37-41.

Aguilar, T. 2001. Demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (*Fragaria ananassa* Duch). Tesis para optar por el grado de Magister de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.

Ali S, Hafeez A, Ma X, Tung S A, Liu A, Shah A N, Chattha M S, Zhang Zhao, Yang G. 2018. Potassium relative ratio to nitrogen considerably favors carbon metabolism in late-planted cotton at high planting density. Field Crops Research 223 48–56

Almoliotis, D; Velemis, D; Bladenopoulou S; Karapetsas N. 2002. Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. Acta Horticulturae. No 567. Pag 447-450

Altamarino R. 2004. El cultivo de la fresa para el ciclo otoño-invierno, en California, Esta dos Unidos de Norte América. Paquete didáctico del título, Ing Agrónomo, Centro universitario de ciencias biológicas y agropecuarias, división de ciencias agronómicas, Universidad

de Guadalajara, Guadalajara, Mexico. Abr, 2004.

Andriolo J.L, Jänisch D.I, Schmitt O.J, Vaz M.A.B, Cardoso F.L, Erpen L. 2009. Nutrient solution concentration on plant growth, fruit yield and quality of strawberry crop. *Ciência Rural* 39 (3):684-690.

Andriolo J.L, Jänisch D.I, Schmitt O.J, Vaz M.A.B, Cardoso F.L, Erpen L. 2010. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. *Ciência Rural*, v.40, n.2.

Aneiros G. 2008. Series de Tiempo. Universidad de Coruña. Departamento de Matemáticas. En: <http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMASTER/Tema1.pdf>. Consultado el 20 de Noviembre de 2018.

Angulo R. 2009. Fresa (*Fragaria ananassa*). Bayer Crop Science. Bogotá, Colombia. Pag 10-11

Anschütz U, Becker D, Shabala S. 2014. Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology* 171. 670–687

Archbold, D.D., Clements, A.M., 2002. Identifying heat tolerant *Fragaria* accessions using chlorophyll fluorescence. *Acta Hort.* 567, 341–344.

Aspuria, J.R., Fujime, Y., Okuda, N., 1996. Strawberry and other small fruits for the highlands of the Philippines. *Tech. Bull. Fac. Agric. Kagawa Univ.* 48, 1–6.

Avitia-Garcia E, Pineda-Pineda J, Castillo-González A.M, Trejo-Tellez L, Corona-Torrez T y Cervantes-Urban E. 2014. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) *MeRevista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. 5 Núm.3 p. 519-524

Baas R, Marissen N y Dik A. 1998. Cut rose quality as affected by Ca supply and traslocation. *Acta Hort.* 518, 45-54.

Bakker J.C. 1991. Calcium deficiency of glasshouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. *Journal of Horticultural Science*, 63: 241- 246.

Banuelos G.S, Bangerth F y Marschner H. 1987. Relationship between polar basipetal auxin transport and acropetal Ca²⁺ transport into tomato fruits. *Physiol. Plant.* 71:321-327.

Barrera, J.; Orjuela, N.; Melgarejo, L.M.; Caicedo, D.; Hernández, M.S. 2009. Efecto de deficiencias minerales y de la luz en arazá (*Eugenia stipitata*) y copoazú (*Theobroma grandiflorum*). En: Hernández, M.S., Barrera, J. (Comp.). *Frutas amazónicas: competitividad e innovación*. Editorial Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Bogotá. p.11-34.

Belge B; Goulao L F; Comabella E; Graell J y Lara I. 2017. Refrigerated storage and calcium dips of ripe ‘Celeste’ sweet cherry fruit: Combined effects on cell wall metabolism. *Scientia Horticulturae* 219:182-190.

Benavides-Mendoza A. 2002. Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas.

Departamento de horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo. Coahuila, Mexico.

Bianchi P.G. 2018. Guía completa del cultivo de la fresa. Capítulo I subcapítulo IV.

Bolda, M; Bottoms, T; Hartz T. 2012. Niveles de suficiencia de Fresa evaluados nuevamente. Revisado en <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=6996>

Borges C. 2017. A Nutrição do Morangueiro (*Fragaria x ananassa* DUTCH.): Efeito na fisiologia e qualidade dos frutos. Universidade de Évora. Dissertação de Doutorado em Ciências Agrárias e Ambientais.

Botelho S y Freire R. 2002. Fertilidade do solo e nutrição da Pimenteira-do-reino. Embrapa, Brasil.

Bouranis, D. L., Dionias, A., Chorianopoulou, S. N., Liakopoulos, G., y Nikopoulos, D. 2014. Distribution profiles and interrelations of stomatal conductance, transpiration rate and water dynamics in young maize láminas under nitrogen deprivation. *Am. J. Plant Sci.* 5, 659–670.

Bradfield E.G y Guttridge C.G. 1979. The dependence of Calcium transport and leaf tipburn in strawberry on Relative Humidity and nutrient solution concentration. *Ann. Bot* 43, 363-372.

Bravo J L; Nava M y Muhlia A. 2000. Relaciones entre la magnitud del valor máximo de ozono, la Radiación solar y la Temperatura ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 16, núm. 2, pp. 45-54

Bruckman W y Ramos E. 2009. El Sol y el clima en la Tierra. Universidad de Puerto Rico. Revista Umbral. N.1: 42-53

Cadahía-López C, Segura-Pérez M.L y Massagur-Rodríguez A. 2005. Fertirrigación de cultivos hortícolas. In: Cadahía López, C. (Ed.), Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 411-424.

Cadena Productiva de la Fresa. 2017. Cifras Sectoriales, 2017. SIOC. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. Consultado el: 21 de Septiembre de 2018. Consultado en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/.../Cifras%20Sectoriales%20-%202017>

Cai, W., Wang, G., Dewitte, B. 2018. Increased variability of Eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature* 564, 201-206. Doi: 10.1038/s415-86-018-0776-9.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168 (4):521-530.

Cakmak, I. 2017. El Rol del Potasio en el Crecimiento Vegetal y la Tolerancia al Estrés. 2do. Curso Internacional en Nutrición de Cultivos. Intagri. México.

Cámara de comercio de Bogotá. 2015. Manual de fresa. Pag 10-12

Camejo, D., Rodríguez P, Morales A, Dell'Amico J.M, Torrecillas A y Alarcón J.J. 2005.

High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *J. Plant Physiol.* 162(3), 281-289.

Cantliffe, D.J., Castellanos J.Z y Paranjpe A.V. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 120:157-161.

Carins Murphy M.R, Jordan G.J y Brodribb T.J. 2014. Acclimation to humidity modifies the link between leaf size and the density of veins and stomata. *Plant, Cell and Environment* (2014) 37, 124-131

Carrillo-Hernandez M.A; Vigeras A.L y Portillo L. 2014. Observaciones sobre el comportamiento de estomas en plantas suculentas. *Bol Nakari* 2014, 5(2):27-30. Departamento de Botánica y Zoología. Universidad de Guadalajara

Carvajal L, Hadi E, Cartagena R, Peláez C, Gaviria C y Rojano B. 2012. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. *Revista Cubana Plantas Medicinales* 17 (1) Ciudad de la Habana.

Casierra-Posada F, Peña-Olmos J E y Ulrichs C. 2011a. Análisis básico del crecimiento en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) expuestas a diferente calidad de luz. *Agronomía Colombiana* 30 (1), 25-33.

Casierra-Posada F, Peña-Olmos J.E y Vargas-Martínez A.F. 2011b. Propiedades Físicoquímicas de Fresas (*Fragaria* sp) Cultivadas Bajo Filtros Fotoselectivos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 64 (2): 6221-6228.

Casierra-Posada F, Peña-Olmos J E y Ulrichs C. 2012. Basic growth analysis in strawberry plants (*Fragaria* sp.) exposed to different radiation environments. *Agronomía Colombiana* 30(1), 25-33.

Casierra-Posada F, Peña-Olmos J E y Zapata-Casierra E. 2014. Pigment content in strawberry leaves (*fragaria* sp.) exposed to different light quality. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(1): 87-94

Casierra-Posada F y Peña-Olmos J E. 2015. Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Física y Naturales.* 39(Supl.): 84-92.

Castillo M.H. 2003. Introducción a la fitogeografía. Biblioteca virtual universal. En: <https://biblioteca.org.ar/libros/8912.pdf>. Consultado el 17 de mayo de 2017.

Castro Camacho J K, Cerquera Peña N E y Gutiérrez Guzmán N. 2013. Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*psidium guajava* cv. guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia*, Volumen 10, Número 19. pp. 79-89.

Castro P. 2017. Determinación de las curvas de crecimiento y acumulación de nutrientes en la variedad Albión de fresa (*Fragaria x ananassa*) para establecer los requerimientos nutricionales de las plantaciones desarrolladas en la zona de Fraijanes, Cantón Central de Alajuela. Tesis para optar al grado de profesional de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciado en Agronomía. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica

Chiqui F.A, Lema M.L y Aviles H. 2010. Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) e la parroquia Octavio Codero Palacios, Cantón Cuenca. Tesis Ingeniero Agropecuario Industrial. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca Ecuador.

Cline J.A y Hanson E.J. 1992. Relative Humidity around Apple fruit Influences Its Accumulation of Calcium. J. Amer.Soc.Hort.Sci. 117(4):542-546.

Corporación Autónoma Regional, 2006. Revisión y ajuste de los planes de manejo ambiental de los humedales de neuta, tierra blanca, laguna de la herrera y humedal el yulo de acuerdo con lo establecido en la resolución 157 de 2004 del mavdt.

Corrales-González, M.; Rada, F.; Jaimez, R. 2016. Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción en el cultivo de la Gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook.f.). Acta Agron. (2016) 65 (3) p 255-260. doi: 10.15446/acag.v65n3 .49555

Daugaard, H. 2001. Nutritional status of strawberry cultivars in organic production. Journal of Plant Nutrition. Vol 24 No 9. Pag 1337-1346

De Alvarenga, A. A., De Castro, E. M., De Castro Lima Junior, E. y Magalhaes, M.M. 2003. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of Croton urucurana Baill. in southeastern Brazil. Revista Arvore, Viscosa – MG 27:53-57.

Deaquiz Y. 2014. Los frutos y su fotosíntesis. CONEXAGR. O JDC VOL. 4 No. 1: 39 – 47

Deaquiz Y A, Alvarez-Herrera J G y Pinzón-Gomez L P. 2014. Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria* sp.). Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 8 - No. 2 - pp. 192-20

De la Cruz Millán M G. 2012. Fertilización foliar con Potasio, Calcio y Silicio en Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis de Maestría en Ciencias Hortícolas, Universidad Autónoma de Chapingo. México.

De la Cruz y Romero S. 2017. Análisis de la Radiación global solar en función de la nubosidad. Tesis final de grado Ingeniería Agroespacial. Departamento de Física avanzada III, Escuela técnica superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

Del Amor F.M y Marcelis L.F.M. 2005. Regulation of Growth and Nutrient Uptake under Different Transpiration Regimes. Acta horticulturae 697(697):523-528

Del Ángel-Hernández M, Zermeño-Gonzalez A, Melendres-Alvarez A.I, Campos-Magaña S G, Cadena-Zapata M y Del Bosque-Villarreal G A. 2017. Características de la cubierta de un túnel efecto en Radiación, clorofila y rendimiento de calabacita. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.8 Núm. 5 p. 1127-1142

Demidchik V. 2014. Mechanisms and physiological roles of K⁺ efflux from root cells. *Journal of Plant Physiology* 171. 696–707

Demirsoy L, Demirsoy H, Ersoy B, Balci G y Kizilkaya R. 2010. Seasonal variation of N, P, K and Ca content of leaf, Crown and root. of 'Sweet Charlie' strawberry under different irradiation. *Zemdirbyste Agriculture*. 97 (1): 23-32.

Díaz A, Cayón G y Mira J.J. 2007. Metabolismo del Calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25(2), 280-287

Dodd A.N, Kudla J, Sanders D. 2010. The language of calcium signaling. *Annual Review of Plant Biology* 61:593-620.

Domingo O.J y Bruno, R.M. 2001. Efecto de diferentes fertilizantes potásicos en el contenido foliar de nutrientes, producción y calidad de fruta en naranjo cv valencia. *Agric. Téc.* V.61 n.4 Chile.

Domoto, P. 2011. Recognizing and correcting nutrient deficiencies in strawberries. Iowa State University-University

Dormido S; Morilla F. 2013. Tutorial de Vensim. Revisado en https://www.dia.uned.es/~fmorilla/web_FMorilla_Julio_2013/MaterialDidactico/Vensim.com.pdf.

Ehret, D.L. y Ho L.C. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* 58:679-688.

Eichert, T., Peguero-Pinab, J. J., Gil-Peigrín, E., Herediac, A y Fernández, V. 2010. Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field-grown peach (*Prunus persica*). *Physiol. Plant.* 138, 48–59.

Ersoy, B.; Demirsoy, H. 2006. Effect of shading of seasonal variation of some macro-nutrients in “Camarosa” strawberry. *Asian Journal of Chemistry*. Vol 18 No 3. Pag 2329-2340.

Esmel C.E, Duval J y Sargent S. 2004. The influence of calcium thiosulfate on yield and postharvest quality of “Sweet Charlie” strawberry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 117, 48-51.

Fageria N.K, Morais O.P y Dos Santos A.B. 2010. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. *J. Plant Nutr.* 33, 1696-1711.

Fang X, Li Y, Nie J, Wang C, Huang K, Zhang Y, Zhang Y, She H, Liu X, Ruan R, Yuan X y Yi Z. 2018. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) *Field Crops Research* 219 160–168

Farquhar GD, von Caemmerer S y Berry JA. 2001. Models of photosynthesis. *Plant Physiol* 125:42–45

Fernandez G y Johnston M. 2006. Crecimiento y Temperatura. Universidad de la Serena, Chile. *Fisiología Vegetal*. Capítulo 20.

Fernández, V., Eichert, T., Del Río, V., López-Casado, G., Heredia-Guerrero, J. A y Abadía, A. 2008. Leaf structural changes associated with iron deficiency chlorosis in field- grown pear and peach: physiological implications. *Plant Soil* 311, 161–172.

Ferrero J.A. 2010. Del calentamiento global al cambio climático ¿una teoría más? En: [file:///C:/Users/user/Downloads/DialnetDelCalentamientoGlobalAlCambioClimaticoUnaTeoriaMa-3800498%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/DialnetDelCalentamientoGlobalAlCambioClimaticoUnaTeoriaMa-3800498%20(1).pdf). Consultado el: 21 de Noviembre de 2018.

Ferrucho A y Ruiz D. 2014. Evaluación y comparación del comportamiento agronómico de dos cultivares de fresa ('albion' y 'monterey') sembrados a libre exposición y bajo Macro túnel en la sabana de Bogotá (Colombia), Tesis de grado. Facultad de ciencias Básicas y aplicadas. Universidad Nueva Granada. Cajica. Colombia

Fischer G. 2005. Aspectos de la fisiología aplicada de los frutales promisorios en cultivo y poscosecha. *Revista Comalfi* 32(1), 22-34.

Fischer G y Perez C P. 2014. Efecto de la Radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio.

Flores-Ortega A, Romero Valdez M E, Díaz Serrano F R, Ramírez Santoyo L F, Ayala Delgado J R. 2015. Comportamiento de las condiciones agroclimáticas prevalecientes en el bajo en el cultivo de fresa manejado bajo Macrotúnel.

Flores V. 2011. Sustratos, Manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Universidad Nacional de Colombia. Pag 182

Florez, R. y Mora R. 2010. Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producción y manejo post cosecha. Primera edición. Produmedios, producción de medios de comunicación, Bogotá. 114 p.

Forero N L, Martínez W, Hernández M D, Martínez M A, Caicedo LM y Gordillo G. 2008. Análisis Sobre la Correlación Estadística Entre Radiación Solar Global y Temperatura Ambiente en Bogotá. *Revista Colombiana de Física*, vol. 40, No. 2

Garcia J M. 2019. Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas. Universidad de Cambridge, Estados Unidos.

Gázquez JC, López JC, Baeza E, Perez-Parra J. Sáez M, Sanchez-Guerrero MC, Medrano E y Lorenzo P. 2006. Yield response of sweet pepper crop to different methods of greenhouse cooling. *Acta Horticulturae*. 719: 507-513.

Ghini R, Hamada E y Bettiol W. 2011. Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Embrapa Meio Ambiente Jaguariúna. Pag 288-289.

Gieling, T.H. 2001. Control of water supply and specific nutrient application in closed growing systems. Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 178pp.

Gómez C.R. 2004. Fresa variedad Chandler (*Fragaria chiloensis* L.) En: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/16/Fresa%20variedad%20Chandler.pdf>.

Consultado el 30 de noviembre de 2018.

Guilin, C; Ruisen, Z; Huibo, G; Shiyi, L. 1999. Study on the content and distribution of NPK in strawberry. *Journal of Agricultural University of Hebei*. Vol 22. Pag 62-65.

Guo X.L, Ma Y.Y, Liu Z.H y Liu B.H. 2008. Effects of exterior abscisic acid on calcium distribution of mesophyll cells and calcium concentration of guard cells in maize seedlings. *Agr. Sci. China* 7(4), 438-446.

Gupta, V y B.C. Tripathy. 2010. Effect of light quality on chlorophyll accumulation and protein expression in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Int. J. Biotechnol. Biochem.* 6(4), 521-536.

Gutiérrez A, Burgos J y Molto E. 2007. Precommercial sorting line for peaches firmness assessment. *J. Food Eng.* 81, 721-727

Hang Z, Nianpeng H, Li X, Ximin Z, Qiufeng W, Bind W y Guirui Y. 2018. Variation in the nitrogen concentration of the leaf, branch, trunk, and root in vegetation in China. *Ecological Indicators* 96 496–504

Hamlyn J, Archer N, Rotenberg E y Casa R. 2003. Radiation measurement for plant ecophysiology. *Journal of Experimental Botany*, Volume 54, Pages 879–889

Hernandez M, Chailloux M y Arozarena N J. 2009. Rango crítico de Nitrógeno y Potasio en frutos indicadoras para dos épocas de plantación en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Crop HA-3019 hybrid for two planting seasons. *Cultrop* Vol 30 No 4.

Hernandez-muñoz E, Almenar P y Del Valle V. 2008. Chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* volume 110 Issue 2: 428-435

Hochmuth, G J.; Maynard, D N.; Vavrina, C.; Hanlon, E A.; Simonne E H. 2010. Plant tissue análisis and interpretation for vegetable crops in Florida. Florida Cooperative Extension Service HS 964, 1-55.

Hornedo-Ortega R; Álvarez-Fernández M.A; Cerezo A.B; Troncoso A.M y García-Parrilla M.C. 2016. Influence of storage conditions on the anthocyanin profile and colour of an innovative beverage elaborated by gluconic fermentation of strawberry. *Journal of Functional Foods* 23:198-209.

Hovenden M.J., Vander Schoor J.K. y Osanai Y. (2012) Relative humidity has dramatic impacts on leaf morphology but little effect on stomatal index or density in *Nothofagus cunninghamii* (Nothofagaceae). *Australian Journal of Botany* 60, 700–706.

Huertas L. 2008. El control ambiental en invernaderos: Humedad relativa. *Revista Horticultura*. Vol 205. P 52-54

Inoue, S., T. Kinoshita, A. Takemiya, M. Doi, y K. Shimazaki. 2008. Leaf positioning of *Arabidopsis* in response to blue light. *Mol. Plant* 1(1), 15-26.

Intagri. 2012. Manejo de frambuesa en Macro túnel. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/manejo-de-la-frambuesa-en-macrotuneles>. Revisado el 03 de septiembre

de 2018.

Intagri. 2014. Producción de fresa en Macro túnel. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/producción-de-fresas-en-macrotuneles>. Revisado el 03 de septiembre de 2018.

ISO 2173. 1983. Fruit and vegetables products, Determination of soluble solids content, Refractometric method.

Jammes F.J, Heng-Cheng H, Villiers F, Bouten R y Kwak J. 2011. Calcium-permeable channels in plant cells. MiniReview. FEBS Journal, 4262-4276.

Janeiro R. 2014. Análisis químico del extracto celular de peciolo en fresa mediante laboratorios portátiles. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Campus Montecillo oPostgrado de edafología. Montecillo, México.

Jarma-Orozco, A; Cardona-Ayala C; Aramendiz, T H. 2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: Una revisión. Revista UDCA, Actualidad y difusión científica. Vol 5 No 1.

Jarma A J; Combatt E M y Cleves J A. 2010. Aspectos nutricionales y metabolismo de Stevia rebaudiana (Bertoni). Una revisión. Agronomía Colombiana, vol. 38, núm. 2, mayo- agosto, pp. 199-208

Jarma A, Rengifo T y Armendariz-Tatis H. 2005. Aspectos fisiológicos de estevia (Stevia rebaudiana Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la Radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. Agronomía Colombiana 23(2): 207-216

Juarez-Lopez P, Bugarin R, Castro R, Sanchez-Monteon A, Cruz-Crespo E. Juarez C y Balois R. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Revista Fuente Año 3 No. 8. Universidad de Chapingo. Mexico

Kirschbaum D y Borquez A. 2006. Nutrición mineral de la frutilla (Fragaria x ananassa Duch.). III Simposio nacional do morango II Encuentro sobre pequeñas frutas e Frutas nativas do Mercosul. Brasil.

Kläring, H-P., Schwarz, D. y Cierpinski, W. 1999. Control of concentration of nutrient solution in soilless growing systems. Depending on greenhouse climate – advantages and limitations. Acta Hort. 507: 133-139.

Körner. O y Challa. H. 2003. Process-based humidity control regime for greenhouse crops. Computers and Electronics in Agriculture 39 (2003) 173/192

Krüger E, Josuttis M, Nestby R, Toldam-Andersen T.B, Carlen C y Mezzetti B. 2012. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. Journal of Berry Research 2, 143–157

Lado J, Vicente E, Manzzioni A, Ghelfi B y Ares G. 2012. Evaluación de calidad de Fruta y aceptabilidad de diferentes cultivares de frutilla. Revista Agrociencia Uruguay. Vol 16 1: 51-58

Lake J.A. y Woodward F.I. (2008) Response of stomatal numbers to CO₂ and humidity: control by transpiration rate and abscisic acid. *New Phytologist*

Larson K. 2012. Day-neutrality in the UC Breeding and Research Program. En: Meeting Presentations, Strawberry Breeding and production physiology in the UC Davis Department of plant Sciences, Universidad de California.

Latif, M; Keenlyside N S. 2009. El Niño/Southern oscillation response to global warming. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 106 (49). <https://doi.org/10.1073/pnas.0710860105>

Lau, C H; Jarvis A; Ramirez J. 2011. Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).4p.

Lawlor D.W., Lemaire G. y Gastal F. 2001. Nitrogen, Plant Growth and Crop Yield. In: Lea P.J., Morot-Gaudry JF. (eds) Plant Nitrogen. Springer, pages 343-367

Ledesma N, Nakata M y Sugiyama N. 2007. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry CV Nyoho and Toyonoka. *Scientia Horticulture*. Vol 116, No 2, p 186-193

Laghari S J, Wahocho N A, Laghari G M, Laghari A H, Bhabhan G M, Talpur K H, Bhutto T A, Wahocho S A, Lashari A. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: A Review. *Advances in Environmental Biology*. 10 (9) Septiembre. Pages 209-218.

Leite, C.A., Ito R,M, Lee G.T, Ganelevin R y Fagnani M.A. 2008. Light spectrum management using colored nets aiming to controlling the growth and the blooming of *Phalaenopsis* sp. *Acta Hort*. 770, 177-184.

Leskovar, G. y Piccinni G. 2005. Yield and leaf quality of processing spinach under deficit irrigation. *HortScience* 40(6), 1868-1870

Leuschner C. 2002. Air humidity as an ecological factor for woodland herbs: leaf water status, nutrient uptake, leaf anatomy, and productivity of eight species grown at low or high VPD levels. *Flora* 197, 262–274.

Li Q, Wu F, Li T, Su X, Jiang G, Qu H, Jiang Y, Duan X. 2012. Methylcyclopropene extends the shelf-life of ‘Shatangju’ mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit with attached leaves. *Postharvest Biol Tec*, 67: 92–95.

Li, X., Chen W y Li Y. 2012. Study on photosynthetic characteristics of blueberry in greenhouse”. *Acta Horticulturae* 926:315-320. 2012.

Liebig J, V. 1840. Química orgánica y su aplicación a la agricultura y a la fisiología. Publicado por Taylor y Walker. Londres, Inglaterra.

Lieten F y Misotten C. 1993. Nutrient uptake of strawberry plants (cultivar Elsanta) grown on substrate. *Acta Hort*. 348: 299-306

Liu J, Feng H, He J, Chen H y Ding D. 2018a. The effects of nitrogen and water stresses on the nitrogen-to-protein conversion factor of winter wheat. *Agricultural Water Management* 210 217–223

Liu N, Wang J, Guo O, Wu S, Rao X, Cai X y Lin Z. 2018b. Alterations in leaf nitrogen metabolism indicated the structural changes of subtropical forest by canopy addition of nitrogen. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 160 134–143

Liu N, Wu S, Guo O, Wang J, Cao C y Wang J. 2018c. Leaf nitrogen assimilation and partitioning differ among subtropical forest plants in response to canopy addition of nitrogen treatments. *Ecological Indicators* 96 496–504

Loor C E, Garcia E y Al-Hadithi. 2013. Puesta en marcha de un Sistema de medición de humedad y temperatura en un invernadero. Tesis de maestría. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Madrid.

López, A.J; Hernández D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina *El Trimestre Económico*, vol. LXXXIII (4), núm. 332 pp. 459-496 Fondo de Cultura Económica Distrito Federal, México

López, A.J y Hernández D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina *El Trimestre Económico*, vol. LXXXIII (4), núm. 332 pp. 459-496 Fondo de Cultura Económica Distrito Federal, México

López, G., Girona J, y Marsal J. 2007. Response of winter root starch concentration to severe water stress and fruit load and its subsequent effects on early peach fruit development. *Tree Physiol.* 26, 469-477.

Lopez L.L, Guzman-Ortiz D L A, García Berumen J A, Chavez Marmolejo C G y Peña-Cabriales J J. 2004. Consideraciones para mejorar la competitividad de la región “El Bajío” en la producción nacional de fresa. *Rev. Mex.Cienc.Agríc* vol 5 no 4.

Lovaisa N.C; Guerrero Molina M.F; Delaporte Quintana P.G.A y Salazar S.M. 2016. Total and marketable fruit yield of strawberry plants grown under different levels of nitrogen fertility and inoculated with *Azospirillum brasilense* REC3 *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 36 (1): 43-46.

Luo Z, Liu H, Li W, Zhao O, Dai J, Tian L y Dong H. 2018. Effects of reduced nitrogen rate on cotton yield and nitrogen use efficiency as mediated by application mode or plant density. *Field Crops Research* 218 150–157

MacKean J, V. 1993. Manual de análisis de suelo y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodología. Laboratorio de servicios analíticos, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT.

Maheswari M, Murthy A.N.G y Shanker A.K. 2017. Nitrogen Nutrition in Crops and its importance in Crop Quality. *The Indian Nitrogen Assessment: Sources of Reactive Nitrogen, Environmental and climate Effects, Management Options, and Policies.* Chapter 12. Pages 175-177

Malavolta, E. 2001. Diagnostico Foliar. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Editorial Guadalupe. Pp 57-98.

Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas: Editora Agronomica Ceres Ltda.

Martines E. 2007. Definiciones de humedad y su equivalencia. Centro Nacional de Metrología, División de Termometría. En: <http://www.cenam.mx/dmE/pdf/TM02.pdf>. Consultado el 21 de Noviembre de 2018.

Martinez-Vega R R, Fischer G, Herrera A, Chaves B y Quintero O C. 2008. Características físico-químicas de frutos de feijoa influenciadas por la posición en el canopi. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* - Vol. 2 - No. 1 - pp. 21-32

Martinsson M, Kwast A, Cieslinski G y Treder W. 2006. Impact of production systems and fertilizer application on yield and quality of strawberry. *Acta Horticulturae*. 708: 59-64

Mauricio J.A. 2007. *Introducción al Análisis de series temporales*. Universidad Complutense de Madrid. Pag 1-33.

Medrano E, Sanchez-Guerrero M C y Lorenzo P. 2016. Manejo de los nutrientes en cultivos hortícolas bajo invernadero: Rendimiento y calidad de la producción. Junta Andaluza. Consultado en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/164276-Manejo-nutrientes-cultivos-hortícolas-bajo-invernadero-rendimiento-calidad-produccion.html>. Consultado el 22 de Noviembre de 2018.

Medrano E, Lorenzo P, Sanchez-Guerrero MC, García ML, Caparrós I y Giménez M. 2004. Influence of an external greenhouse mobile shading on tomato crop transpiration. *Act Hort* 659: 195-199.

Meisel L, Urbina D y Pinto M. 2007. Fotorreceptores y respuesta de plantas a señales luminicas. Universidad de la Serena, Chile. *Fisiología Vegetal*. Capítulo 18.

Melgar, J C, Dunlop J y Syvertsen J P. 2008. Winter time drought stress delays 'Valencia' flowering and avoids young fruit loss during late season mechanical harvesting. p. 1208. In: *Proc. ASHS Annual Conference*. Orlando, FL.

Mendieta L. 2011. Distribución espacial de nutrimentos en la solución del suelo para la producción intensiva de fresa. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Campus Montecillo. Postgrado de edafología. Montecillo, México.

Mengel, K. 2007. Potassium. In *Handbook of plant nutrition*, eds. A. V. Barker and D. J. Pilbeam, 91-120: CRC Press.

Merchán-Gaitán J B, Ferrucho R L y Álvarez-Herrera J G. 2014. Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinérea* y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp.) *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 8 (1), 44-56

Miranda A L. 2010. *Fundamentos de climatización (Psicrometría, evaporación y condensaciones)*. Editorial Alfaomega. Mexico. Pag 5-21.

Mix, G.P. y Marschner H. 1976a. Calciumgehalte in Früchten von Paprika, Bohne, Quitte und Hagebutte im Verlauf des Fruchtwachstums (Calcium content in fruits of paprika, bean, quince, and hip during fruit growth). *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 5:537-549.

Mix, G.P. y Marschner H. 1976b. Einfluss exogener und endogener Faktoren auf den Calciumgehalt von Paprika- und Bohnenfrüchten. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 5:551-563.

Molina E. 2007. *Análisis foliar y su interpretación*. Centro de investigaciones agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Editorial AminoGrow International. Boletín técnico. pp 9.

Monsi M y Saeki T. 2005. On the Factor Light in Plant Communities and its Importance for

Matter Production. *Annals of Botany* 95: 549–567

Morales D, Rodriguez P, Dell´Amico J, Torrecillas A y Sanchez-Blanco M. 2006. Efecto de las Temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de Tomate (*Lyopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). *Cultivos Tropicales*, vol, 27 No 1 p 45-48

Mortensen L V. 2000. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. *Scientia Horticulturae* 86 (2000) 299- 310

Motamedi S, Jafarpour M, Shams J. 2013. Evaluation of nutrition on flower number and yield of strawberry in greenhouse. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* Vol., 5 (18), 2091-2095

Murray X.J, Holcroft D.M, Cook N.C y Wand S.J.E. 2005. Postharvest quality of ‘Laetitia’ and ‘Son-gold’ (*Prunus salicina* Lindell) plums as affected by preharvest shading treatments. *Postharv. Biol. Technol.* 37, 81-92.

Naizaque, J.; García, G.; Fischer, G.; Melgarejo, L.M. 2014. Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. BERG] BURRET). *Revista. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.* 17(1): 115-121

Nasrullahzadeh S, Ghassemi–Golezani K, Javanshir A, Valizade M y Shakiba M R. 2007. Effects of shade stress on ground cover and grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.5 (1) 337-340. 2007

Nelson, G G; Rosegrant, M W; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M y Lee, D. 2009. Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto internacional de investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Washington, DC.

Nelson P.V, Kowalczyk W, Niedziela Jr C.E, Mingis N.C y Swallow W.H. 2003. Effects of relative humidity, calcium supply, and forcing season on tulip calcium status during hydroponic forcing. *Scientia Horticulturae* 98: 409–42

Nestby R, Lieten F, Pivot D, Raynal Lacroix C y Tagliavini M. 2005. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plants organs: a review. *International Journal of Fruit Science*, v. 5, p. 141-158

Nguy-Robertson, A., Suyker, A y Xiangming X. 2015. Modeling gross primary production of maize and soybean croplands using light quality, temperature, water stress, and phenology. *Agricultural and Forest Meteorology.* 213: 160-172.

NMX-FF-011. 1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación.

Noreña J.E.J, Rodriguez V.P, Aguilar P.A y Restrepo J.F. 2013. Control climático bajo condiciones protegidas. Capítulo 2 En: Tecnología para el cultivo de Tomate en condiciones protegidas.

Ojeda-Real L. A; Cárdenas-Navarro R; Lobit P; Grageda-Cabrera O; Valencia-Cantero E y Macías-Rodríguez L. 2008. Efecto de la nutrición nitrógena y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(1): 61-70.

Ortiz Z.F. 2002. Procesamiento morfológico de imágenes en color. Aplicación a la reconstrucción geodésica. Tesis de Doctorado. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante, pp.8-34.

Padrón C.A. 2010. “Procesamiento digital de imágenes de frutos de semeruco (*Malpighia glabra* L.) durante el crecimiento y maduración”, Revista Científica Electrónica de Agronomía, Garca, vol. 17, No. 2, pp, 1-17.

Padrón C.A, Padrón G.M, Montes A.I y Oropeza R.A. 2012. “Determinación de color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante su maduración”. En *Agronomía Costarricense*, pp. 97-111.

Palencia P, Martinez F, Medina J.J y Medina J.L.2013. Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*, 31, pp 93-99.

Patil, G.G., Oi R, Gissinger A y Moe R. 2001. Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature. *Gartenbauwiss.* 66(2), 53-60.

Peres N.A, Price J.F, Stall W.M, Chandler, C.K, Olson S.M, Taylor T.G, Smith S.A y Simonne E.H. 2010. Strawberry production in Florida. Florida Cooperative Extension Service HS736, 379-386.

Pérez V. 2007. Estudio de canales permeables a Calcio de membranas intracelulares de células vegetales. Tesis de doctorado. Universidad de Colima, Colima, México

Piedrahita, W. y Flórez R. 2011. Evaluación de dos cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) producidas bajo condiciones de hidroponía en Macro túneles. Memorias IV Congreso Colombiano de Horticultura: Aportes de la Investigación al Desarrollo de la Horticultura Colombiana en el Siglo XXI. 63 p.

Prado, R.M. 2008. Pótassio. In *Nutrição de plantas*, p.161- 181. São Paulo: Editora Unesp.

Pires M.G. 2010. Adubação Química, infestação de *Tetranychus urticae* Kock (Acari: Tetranychidae) e produção do Morangueiro. Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Dissertação de Mestrado em Agronomia.

Pozo, M A. 2017. Manejo del cultivo frente al cambio climático. Extraído de <https://www.Intagri.com/articulo/nutrición-vegetal/manejo-de-los-cultivos-frente-a-los-cambios-climaticos>

Pritchard, S.G.; Amthor, J.S. 2005. Crop and environmental change. Food Product Press (New York, NY). 421p.

Quezada M.Y. 2016. Evaluación del desarrollo vegetativo del cultivo de fresa (*Fragaria* spp.) mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) utilizando el abono orgánico mediante la técnica del compost, Lima-2016. Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad cesar Vallejo. Facultad de ingeniería. Escuela profesional de ingeniería Ambiental.

Qi J, Sun S, Yang L, Li M, Ma F y Zou Y. 2018. Potassium Uptake and Transport in Apple Roots Under Drought Stress. *Horticultural plant journal*. Vol 4 No 5.

Ramirez.C y Nienhuis. J. 2012. Cultivo protegido de hortalizas en Puerto Rico. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, No 2. Pág 10-20.

Raynal-Lacroix, C; Bardet, A; Freixinos E. 1999. Fraisier- La fertilisation azotée. Infos-Ctifl. 49: 34-39

Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA). 2005. Ensayos de variedades campaña 2005. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. En: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337163377_RAEA_fresas_05.pdf. Consultada: 30 noviembre de 2018.

Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA). 2014. Ensayos de variedades campaña 2014. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. En: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83&contentId=de8ead58-907c-43ba-93eb-2c250ddb89e1>. Consultada: 30 noviembre de 2018.

Restrepo-Diaz H, Melgar J.C y Lombardini L. 2010. Ecofisiología de cultivos hortícolas. Una visión general. Revista Agronomía colombiana. Vol 28, No 1, Pag 71-79.

Retamal-Salgado J, Bastías R M, Wilckens R y Paulino L. 2015. Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in blueberry 'O'Neal'. Chilean J. Agric. Res. Vol 75 no.3

Retamales J.B. 2005. Fisiología y manejo de la nutrición de boro, Potasio y Calcio en pomáceas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile

Reyes V. 2018. Respuestas fisiológicas y morfológicas de la zarzamora (*Rubus* sp) bajo condiciones de Macro túnel. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.

Righi E.Z, Buriol G.A, Angelocci L.R, Heldwein A.B y Tazzo I.F. 2012. Relationships of p hotosynthetic photon flux density, air temperature and humidity with tomato leaf diffusive conductance and temperature. Brazilian Archives of Biology and Technology 55:359-370.

Roca, M.D. 2009. Absorción de nitrato en cultivo sin suelo. Estudio de las implicaciones agronómicas y fisiológicas como base para optimizar el manejo de la fertilización. Aplicación a un cultivo de rosas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 267pp.

Rodríguez, M.; Arjona H.E y Galvis J.A. 2006. Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a Temperatura ambiente en condiciones de Bogotá. Agron. Colomb. 42(1), 68-76.

Roudeillac, P y Trajkovski, K. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. Acta Hort. 649, 55-60

Salisbury, F.B. y Ross C.W. 2000. Fisiología de las plantas. 2. Bioquímica vegetal. Ed. Paraninfo, Madrid. 523 p.

San Bautista, A; López-Galarza, S; Martínez, A; Pascual, B; Maroto J V. 2009. Influence of cation proportions of the nutrient solution on tipburn incidence in strawberry plants. Journal Plant Nutrition. 32, 1527-1539.

Sánchez-Díaz, M.; Aguirreolea, J. 2008. Transpiración y control estomático. En: Azcón-

Bieto, J.; Talón, M. (Eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España (Madrid). p.41-56.

Sancllemente M A y Peña E J. 2008. Crecimiento y eficiencia fotosintética de *ludwigia decurrens walter* (onagraceae) bajo diferentes concentraciones de Nitrógeno. *Acta biología Colombiana.*, Vol. 13 No. 1, 175 – 186

Santoyo J.A y Martínez C.O. 2010. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Gobernación de Sinaloa, Sagarpa. Sinaloa, Mexico. Pag 10.

Sattara A, Naveeda M, Alia M, Zahira Z A, Nadeemb S M, Yaseena M, Meenac V S , Farooqd M , Singhe R, Rahmanf M y Meenag H N. 2018. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Applied Soil Ecology*.

Selvendran R R y Malcolm A O. 2006. Isolation and analysis of cell walls from plant material. *Methods of Biochemical Analysis, Volume 32:25-153*.

Shao, H. B., Song W.Y y Chu L.Y. 2008. Advances of calcium signals involved in plant anti-drought. *C.R. Biol.* 331(8), 587-596.

Sharma R.R., Krishna H., Patel V.B., Dahuja A y Singh R. (2006) Fruit calcium content and lipoxygenase activity in relation to albinism disorder in strawberry. *Scientia Horticulturae*, Vol. 107 (2), p. 150–154.

Shaw D y Larson K.D. 2004. Strawberry plant named ‘Abion’. En: USPTO-The United States Patent and Trademark Office, <http://www.uspto.gov/patents>. Consulta: diciembre de 2013.

Singh A, Syndor A, Deka B.C, Singh R.K y Patel R.K. 2012. The effect of microclimate in side low tunnels on off-season production of strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) *Scientia Horticulturae* 144:36-41. 2012.

Singsaas EL, Ort DR y De Lucia EV. 2001. Variation in measured values of photosynthetic quantum yield in ecophysiological studies. *Oecologia* 128:15–23

Solarte, M.E.; Romero, H.M.; Melgarejo, L.M. 2010. Caracterización ecofisiológica de la guayaba de la hoyá del río Suárez. En: Morales, A.L.; Melgarejo, L.M. (Eds.). Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). p.25-56.

Solórzano A.C, Martín A, Salazar S M, Sandoval J S y Kirschbaum D S. 2005. Correlación entre la medida del color del fruto y la concentración de sólidos solubles totales en frutilla o fresa (*Fragaria ananassa* Duch.). *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 35 (1): 55-60.

Sonneveld, C. 2003. Efectos de la salinidad en los cultivos sin suelo. In: Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Eds.: Hortimed, FIAPA. Almería: 149- b 168.

Sprogis K, Kince T y Muizniece-Brasava S. 2017. Investigation of fertilisation impact on fresh strawberries yield and quality parameters. *Department of Food Technology, Faculty of*

Food Technology, Latvia University of Agriculture.

Stanisavljevic, M; Gavrilovic-Damjanovic, J; Mitrovic, O; Mitrovic, V. 1997. Dynamics and contents of minerals in some strawberry organs and tissues. *Acta Horticulturae*. Vol 2 No 439. Pag 705-708.

Strassburger A, Nogueira R, Ernani J, Barbosa C, De Souza D y Buchweitz J. 2010. Crescimento e produtividade de cultivares de morangueiro de "día neutro" em diferentes densidades de plantio em sistema de cultivo orgânico. *Bragantia*, 69(3), 623-630.

Strik, B.C., 1985. Flower bud initiation in strawberry cultivars. *Fruit Var. J.* 39, 5–9.

Stromme E, Selemr-Olsen A.R, Gislerod H.R y Moe R. 1994. Cultivar differences in nutrients absorption and susceptibility to bract necrosis in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* wild. Ex Klotzsch), *Gartenbauwissenschaft* 59, 6-12.

Tagliavini M, Baldi E, Lucchi P, Antonelli M, Sorrenti G, Baruzzi G y Faedi W. 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria×ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *Eur. J. Agron.* 23, 15-25.

Taiz L y Zeiger E. 2006. Fisiología vegetal, Volumen 1. Capítulo 5, Nutrición mineral. Pag 118 y 119.

Torre, S., Fjeld, T y Gislerød, H. R. (2001). Effects of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristics of cut roses. *Sci. Horticult.* 90, 291–304.

Trejo-Tellez L y Gomez-Merino F. 2014. Nutrient management in strawberry: effects on yield, quality and plant health. En el Libro: Strawberries, Chapter 11. Pag 243 – 255.

Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2007. Guía para la toma de muestra foliar. Centro de Bio Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Universidad Nacional de Colombia. 2017. Vensim profesional 5.11a. Software.

Vega E y Salas R. 2012. Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. *Intersedes*. 13:21-46

Villalba-Campos L, Herrera-Arévalo A O, Orduz-Rodríguez J O. 2013. Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco), *Universidad de los Llanos* Vol. 18 - No 1

Villazón-Bustillos D, Rubio-Arias H O, Ortega-Gutiérrez J A, Rentería-Villalobos M, González-Gurrola L.C y Pinales-Munguía A. 2016. Análisis en series de tiempo para el pronóstico de sequía en la región noroeste del estado de Chihuahua. *Revista ecosistema y recursos agropecuarios*. 3(9):307-315

Wahid A, Gelani S, Ashraf M y Foolad M R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*. 61, p 199-223.

Wang, H., Gu M, Cui J, Shi K, Zhou Y y Yu J. 2009. Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J. Photochem. Photobiol. B.* 96, 30- 37.

Wang N, Hua H, Eneji A.E, Li Z, Duan L y Tian X. 2012. Genotypic variations in photosynthetic and physiological adjustment to potassium deficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 110, 1–8.

Wang, S.Y y Camp M.J. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Sci. Hortic.* 85, 183–199.

Wang, S.Y y Lin H., 2006. Effect of plant growth temperature on membrane lipids in strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Sci. Hortic.* 108, 35–42.

Wang X.G, Zhao X.H, Jiang C.J, Li C.H, Cong S, Wu D, Chen Y.Q, Yu H.Q y Wang C.Y. 2015. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photoprotection mechanisms in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J. Int. Agric.* 14 (5), 856–863.

Wang Y y Wu W H. 2017. Regulation potassium transport and signaling in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 39:123–128

Went, F.W., 1957. *The Experimental Control of Plant Growth*. Chronica Botanica Co., Waltham, Massachusetts (Chapter 9).

White, P. J. 2012. Long-distance transport in the xylem and phloem” in Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, ed P. Marschner Berlin: Elsevier, 50, 55, 61.

Whitman W C y Johnson W M. 2000. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado, Vol 3. Editorial Paraninfo. Pag 161-165.

Xu H.L, Iraqi D y Gosselin A. 2007. Effect of Ambient Humidity on Physiological Activities and Fruit Yield and Quality of Greenhouse Tomato. *Acta Hort* 20(1):85-92

Yadav S.K, Singh V, Lakshmi N.J, Vanaja M, Maheswari M, Tiwari Y.K, Patil A, Nagendram E y Venkateswarlu B. 2013. Carbohydrates and sucrose metabolizing enzymes in the leaves of *Vigna mungo* genotypes as influenced by elevated CO₂ concentration. *J. Agr. Sci. Tech.* 15, 1107–1120.

Zhao Y, Gu M, Bi G, Evans B y Harkess R. 2014. Planting date effect on yield of tomato, eggplant, pepper, zinnia, and snapdragon in high tunnel in Mississippi. *Journal of Crop Improvement* 28:27-37.

Zhang, J.H., Huang W.D, Liu Y.P y Pan Q.H. 2005. Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. *J. Integr. Plant Biol.* 47, 959-970.

Zörb C, Senbayram M y Peiter E. 2014. Potassium in agricultura: Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171. 656–669

Zsivanovits, G, MacDougall A.J, Smith A.C, Ring S.G. 2004. Material properties of concentrated pectin networks. *Carbohydrate Research* 339 (7):1317-1322.

Zufferey, V., Murisier F y Schultz R. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis* 39(1): 19-26.